



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGOLAHAN MINYAK JARAK PAGAR UNTUK SINTESA
FRAKSI C₃ DAN C₄ DENGAN REAKSI PERENKAHAN
KATALITIK MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINA (Al₂O₃)**

SKRIPSI

DIANITA WANGSAMULIA

0405060202

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JANUARI 2009



UNIVERSITAS INDONESIA

**PENGOLAHAN MINYAK JARAK PAGAR UNTUK SINTESA
FRAKSI C₃ DAN C₄ DENGAN REAKSI PERENKAHAN
KATALITIK MENGGUNAKAN KATALIS ALUMINA (Al₂O₃)**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

DIANITA WANGSAMULIA

0405060202

FAKULTAS TEKNIK

PROGRAM STUDI TEKNIK KIMIA

DEPOK

JANUARI 2009

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : Dianita Wangsamulia

NPM : 0405060202

Tanda Tangan :

Tanggal : 2 Januari 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Dianita Wangsamulia
NPM : 0405060202
Program Studi : Teknik Kimia
Judul Skripsi : Pengolahan Minyak Jarak Pagar Untuk Sintesa Fraksi
C₃ dan C₄ Dengan Reaksi Perengkahan Katalitik
Menggunakan Katalis Alumina (Al₂O₃)

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Kimia, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. Mohammad Nasikin, M.Eng ()
Penguji : ()
Penguji : ()

Ditetapkan di :

Tanggal :

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis panjatkan ke Tuhan YME atas berkat dan rahmat-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat pada waktunya. Skripsi dengan judul **“Pengolahan Minyak Jarak Pagar Untuk Sintesa Fraksi C₃ dan C₄ Dengan Reaksi Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Alumina (Al₂O₃)”** ini disusun untuk melengkapi persyaratan untuk meraih gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Kimia pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Selain itu, makalah ini diharapkan menjadi langkah awal untuk penelitian selanjutnya. Dalam kesempatan ini penulis ingin mengucapkan terimakasih kepada semua pihak yang telah membantu pembuatan makalah ini, yaitu:

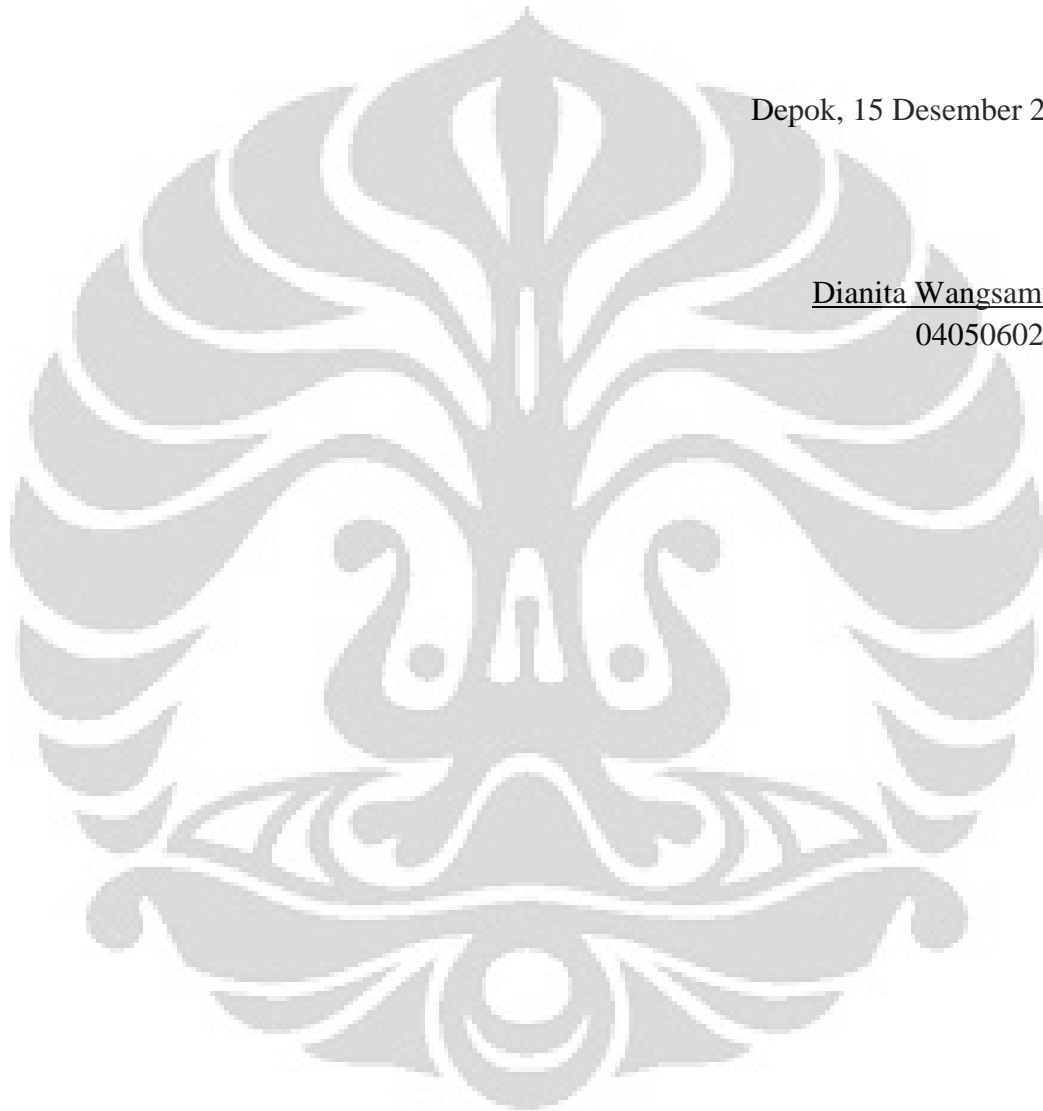
1. Bapak Prof. Dr. Ir. M. Nasikin, M.Eng selaku pembimbing seminar atas bimbingan, bantuan, waktu, dan sarannya.
2. Prof, Dr. Ir. Widodo W. Purwanto, DEA selaku beserta seluruh dosen Ketua Departemen Teknik Kimia FTUI yang telah memberikan ilmu dan membagikan wawasannya.
3. Mami, Papi, dan kakak – kakak atas semangat, dukungan, serta doa yang telah diberikan dan menjadi motivasi.
4. Wahyudi atas perhatian, dukungan, serta semangat yang diberikan di saat jenuh.
5. Sylvia, Venessia, Shantya, dan Rosita atas dukungan dan persahabatannya.
6. Teguh, Rusdi, dan Doni yang sudah membantu dalam pencarian sumber serta saling bertukar wawasan dan informasi yang ada.
7. Renda, Ryo, Rano dan Devi selaku teman sekelompok untuk mata kuliah Perancangan Pabrik atas segala pengertian dan dukungannya.
8. Dayat dan Kiki yang telah memberikan banyak informasi, jurnal – jurnal serta berbagi pengalaman.
9. Teman – teman Teknik Kimia UI angkatan 2005 atas kerjasamanya dalam penyusunan skripsi
10. Semua pihak yang telah mebanu penyusunan makalah seminar ini baik secara langsung ataupun tidak langsung.

Semoga Tuhan YME membalas kebaikan dan bantuan yang telah diberikan. Amin.

Penulis menyadari bahwa makalah seminar ini masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan untuk dapat menyempurnakan seminar ini dan perbaikan di masa yang akan datang.

Depok, 15 Desember 2008

Dianita Wangsamulia
0405060202



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS
AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dianita Wangsamulia
NPM : 0405060202
Program Studi : Teknik Kimia
Departemen : Teknik Kimia
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Pengolahan Minyak Jarak Pagar Untuk Sintesa Fraksi C₃ dan C₄ Dengan Reaksi Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Alumina (Al₂O₃)

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/format-kan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 2 Januari 2009

Yang menyatakan

(Dianita Wangsamulia)

ABSTRAK

Nama : Dianita Wangsamulia
Program Studi : Teknik Kimia
Judul : Pengolahan Minyak Jarak Pagar Untuk Sintesa Hidrokarbon
Fraksi C₃ dan C₄ Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik
Menggunakan Katalis Alumina (Al₂O₃)

Program konversi minyak tanah ke LPG yang dilakukan oleh pemerintah telah menaikkan permintaan masyarakat akan LPG. LPG merupakan hasil pencairan hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄ yang berasal dari minyak dan gas bumi yang merupakan sumber yang tidak dapat diperbaharui. Untuk memenuhi kebutuhan akan LPG tersebut mulai dikembangkan sumber energi alternatif seperti minyak nabati yang mengandung trigliserida yang mirip dengan komponen penyusun minyak bumi.

Penelitian sebelumnya telah berhasil merengkah minyak kelapa sawit (CPO) menggunakan katalis alumina dengan yield fraksi C₃ dan C₄ sebesar 2,12% dan 11,53%. Pada penelitian ini, CPO diganti dengan minyak jarak pagar semi mulus (*Straight jatropha oil-SJO*). SJO merupakan minyak yang *non-edible* karena sifatnya beracun sehingga pemanfaatannya sebagai sumber bahan bakar alternatif tidak akan bertentangan dengan kebutuhan pangan manusia seperti pada pemanfaatan minyak nabati lain. Di samping itu, SJO memiliki jumlah ikatan tak jenuh yang lebih banyak sehingga akan lebih mudah direngkah jika dibandingkan dengan CPO.

Perengkahan SJO dengan menggunakan katalis alumina (Al₂O₃) dilakukan pada fasa cair dan tekanan atmosferik secara tumpak dengan variasi suhu (320°C, 330°C, dan 340°C) dan rasio katalis/SJO (1:75 dan 1:100). Produk gas dianalisis dengan *gas chromatography*, sedangkan produk cair yang diperoleh melalui proses distilasi untuk kemudian dilakukan uji densitas dan analisis FTIR.

Penelitian yang dilakukan berhasil merengkah SJO yang ditunjukkan dari analisa FTIR di mana jumlah ikatan C=C bertambah sementara jumlah alkil (-CH₃ dan =CH₂), gugus ester (O-C=O), serta ikatan -(CH₂)_n- berkurang jika dibandingkan dengan kondisi awalnya. Perengkahan yang terjadi juga menaikkan densitas dari SJO sisa reaksi akibat adanya reaksi propagasi. Pada awalnya, penelitian ini bertujuan untuk memperoleh hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄ dari SJO, namun dari hasil analisa GC diperoleh produk gas yang mayoritas berupa C₄ dengan yield dan konversi yang tinggi. Hal ini terkait dengan mekanisme perengkahan SJO itu sendiri sekaligus menunjukkan bahwa reaksi perengkahan yang dilakukan selektif terhadap pembentukan C₄. Hasil optimum diperoleh pada suhu reaksi 320°C dengan massa katalis/SJO = 1:100 setelah reaksi berlangsung selama ±20 menit dengan yield C₄ mencapai 70% dan konversi sebesar 64,1%.

Kata kunci:

Straight jatropha oil; katalis alumina

ABSTRACT

Name : Dianita Wangsamulia
Study Program : Chemical Engineering
Title : Jatropha Oil Processing for Synthesis of Hydrocarbon Fractions C₃ and C₄ Using Alumina (Al₂O₃) Catalytic Cracking Reaction

Government's conversion program from kerosene to LPG makes the demand of LPG increase. LPG is product from natural gas and petroleum processing which are un-renewable energy and the amount is limited. It makes people starts to search alternative energy for substitute oil and natural gas such as natural oil whose has triglycerides that similar with component of oil and natural gas.

Previously research success to synthesizing hydrocarbon of C₃ - C₄ from crude palm oil (CPO) by catalytic cracking reaction using alumina with maximum result is 2,12% C₃ and 11,53% C₄. In this research, CPO is replaced by straight jatropha oil (SJO). SJO is non-edible so the usage for alternative energy won't compete for resources needed to grow food. Cracking of SJO already done both thermal or catalytic. The numbers of saturated bond in SJO is more than in CPO and it makes SJO easier to crack than CPO.

Catalytic cracking reaction of SJO using alumina run in liquid phase, atmospheric pressure, and batch. The reaction was varied by cracking temperature (320⁰C; 330⁰C; 340⁰C) and catalyst/SJO mass ratio (1:75 ; 1:100). The gas product was analyzed using GC and the liquid product was gathered by distillation process for being tested of it's density, IBP, and analyzed by FTIR.

In this research, SJO cracking was proven by the increasing of C=C bond and decreasing of (-CH₃ and =CH₂) alkyl and -(CH₂)_n- bond , and increasing of (-CH₃) alkyl in liquid product based on the FTIR analysis. SJO cracking also increase the density of liquid because of propagation reaction. The optimum research obtained by yield C₄ = 70% and conversion C₄ = 64,1% when reaction run at 320⁰C with ratio mass catalyst and SJO after the reaction run for 20 minutes.

Key Words:
Straight jatropha oil, alumina catalyst

DAFTAR ISI

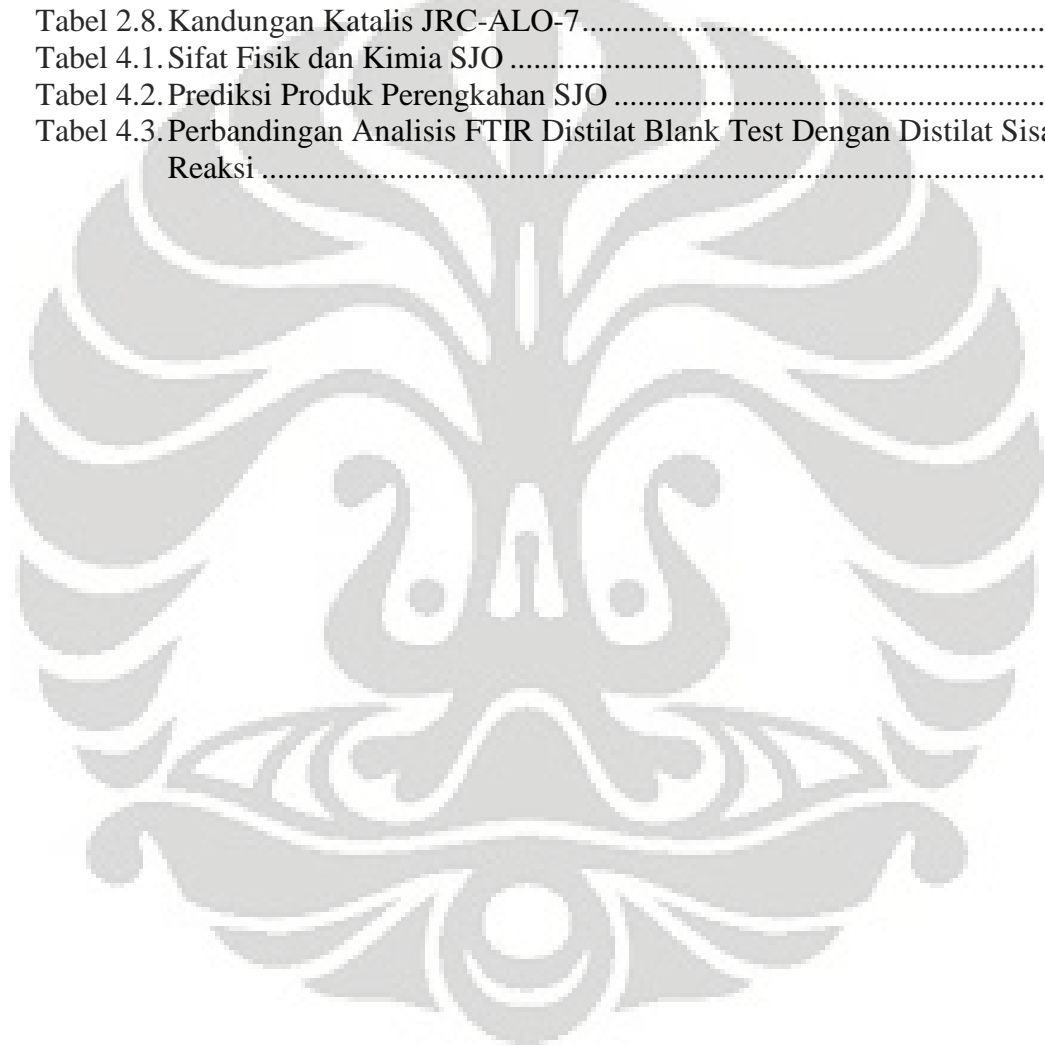
HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS	vi
ABSTRAK	vii
ABSTRACT.....	viii
DAFTAR ISI.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah.....	4
1.3 Tujuan Penelitian.....	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Sistematika Penulisan.....	5
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 LPG (Liquified Petroleum Gas)	6
2.2 Bahan Baku Petrokimia (Petrochemical Building Block).....	7
2.3 Jarak Pagar.....	9
2.3.1 Tanaman Jarak Pagar	9
2.3.2 Minyak Jarak Pagar.....	10
2.4 Katalis Alumina (Al_2O_3).....	14
2.5 Mekanisme Perengkahan Katalitik.....	17
2.5.1 Mekanisme Perengkahan Katalitik Pada Minyak Bumi	18
2.5.2 Mekanisme Perengkahan Katalitik Pada Minyak Kelapa Sawit.....	20
2.6 Penelitian – Penelitian Sebelumnya	22
BAB III METODE PENELITIAN.....	25
3.1 Variabel Bebas dan Variabel Terikat.....	26
3.2 Alat dan Bahan	26
3.3 Prosedur Penelitian	27
3.3.1 Blank Test	27
3.3.2 Tahap Reaksi Perengkahan Katalitik Minyak Jarak pagar	28
3.3.3 Tahap Distilasi	29
3.3.4 Tahap Analisis Produk Perengkahan	29
3.3.5 Tahap Penyajian dan Pengolahan Data	30
3.4 Pelaksanaan Penelitian	31
3.5 Skema Alat Penelitian	32
BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN.....	35
4.1 Analisis Percobaan	35
4.1.1 Tahap <i>Blank Test</i>	35
4.1.2 Tahap reaksi perengkahan katalitik.....	36

4.1.3 Tahap distilasi	37
4.2 Analisa Mekanisme Perengkahan Katalitik SJO	38
4.3 Analisis Densitas Produk Cair	41
4.4 Fraksi Komponen C ₄	42
4.4.1 Pengaruh Rasio Massa SJO/Katalis Terhadap Fraksi C ₄	42
4.4.2 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Fraksi C ₄	45
4.4.3 Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Fraksi C ₄	46
4.5 Pengaruh Suhu Reaksi dan Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Konversi	49
4.6 Pengaruh Suhu Reaksi dan Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Fraksi C ₄	50
4.7 Analisis FTIR	52
BAB 5 KESIMPULAN.....	57
DAFTAR REFERENSI.....	59
LAMPIRAN.....	61



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Tabel karakteristik LPG.....	6
Tabel 2.2. Perbandingan antara minyak tanah dan LPG	7
Tabel 2.3. Kandungan Tanaman Jarak Pagar	10
Tabel 2.4. Sifat Fisik dan Kimia Minyak Jarak Pagar	10
Tabel 2.5. Perbandingan Minyak Jarak Pagar dengan CPO.....	12
Tabel 2.6. Perbandingan Komponen Penyusun Minyak Jarak Pagar dengan CPO	13
Tabel 2.7. Sifat Fisik dan Kimia Al_2O_3	14
Tabel 2.8. Kandungan Katalis JRC-ALO-7.....	17
Tabel 4.1. Sifat Fisik dan Kimia SJO	35
Tabel 4.2. Prediksi Produk Perengkahan SJO	40
Tabel 4.3. Perbandingan Analisis FTIR Distilat Blank Test Dengan Distilat Sisa Reaksi	54



DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1.	Grafik Produksi Minyak Nasional.....	2
Gambar 2.1.	Tanaman Jarak Pagar.....	9
Gambar 2.2.	Diagram Alir Pengolahan Biji Tanaman Jarak Pagar Menjadi Minyak Jarak	11
Gambar 2.3.	<i>Straight Jatropha Oil</i> (SJO)	13
Gambar 2.4.	Struktur Molekul Komponen Penyusun Minyak Jarak Pagar	13
Gambar 2.5.	Struktur Molekul Alumina.....	15
Gambar 2.6.	Reaksi Penghilangan CO ₂	21
Gambar 2.7.	Reaksi Perengkahan Hidrokarbon	21
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian.....	25
Gambar 3.2.	Skema Alat Penelitian Untuk Reaksi Perengkahan.....	32
Gambar 3.3.	Skema Alat Penelitian Untuk Distilasi	32
Gambar 3.4.	Rangkaian Alat Pada Saat Reaksi Perengkahan	33
Gambar 3.5.	Rangkaian Alat Pada Distilasi	33
Gambar 3.6.	Insulator Yang Digunakan Pada Saat Reaksi	34
Gambar 4.1.	Struktur Asam Oleat	38
Gambar 4.2.	Struktur Asam Linoleat	38
Gambar 4.3.	Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik Olefin.....	39
Gambar 4.4.	Mekanisme Perengkahan Katalitik Ikatan Rangkap Dari Trigliserida	39
Gambar 4.5.	Stabilisasi Karbokation Hasil Perengkahan Katalitik Ikatan Rangkap dari Trigliserida	39
Gambar 4.6.	Pengaruh Suhu Reaksi Dan Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Densitas	41
Gambar 4.7.	Pengaruh Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Fraksi C ₄ untuk Suhu Reaksi (a) 320°C, (b) 330°C, dan (c) 340°C	44
Gambar 4.8.	Perubahan warna SJO (a) sebelum reaksi dan (b) sesudah reaksi ..	45
Gambar 4.9.	Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Fraksi C ₄	46
Gambar 4.10.	Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Fraksi C ₄ Untuk Rasio Massa SJO/Katalis (a) 1:75 dan (b) 1:100	47
Gambar 4.11.	Pengaruh Waktu Reaksi dan Untuk Rasio Massa SJO/Katalis Terhadap Konversi	50
Gambar 4.12.	Pengaruh Waktu Reaksi dan Untuk Rasio Massa SJO/Katalis Terhadap Yield C ₄	51
Gambar 4.13.	Spektra FTIR dari (a) Distilat SJO Murni dan (b) Distilat Sisa Reaksi Pada T = 320°C Dengan Rasio Massa Katalis/SJO = 1:100	52
Gambar 4.14.	Reaksi perengkahan pada (a) paraffin dan (b) olefin	53

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Hasil Kalibrasi GC	61
Lampiran 2. Hasil Pengolahan Data Produk Perengkahan	66
Lampiran 3. Hasil Analisa FTIR	74



BAB 1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan jaman yang disertai dengan kemajuan teknologi, informasi, dan pembangunan mengakibatkan kebutuhan manusia meningkat terutama di bidang energi. Pemenuhan kebutuhan energi saat ini sebagian besar berasal dari bahan bakar fosil yaitu minyak dan gas bumi yang tak terbarui, sehingga akan terbentur pada keterbatasan ketersediaan bahan bakar fosil tersebut. Salah satu kebutuhan energi masyarakat berasal dari bidang rumah tangga yaitu untuk bahan bakar memasak. Beberapa bahan bakar yang umumnya digunakan masyarakat untuk memasak adalah LPG, minyak tanah, kayu bakar, dan arang.

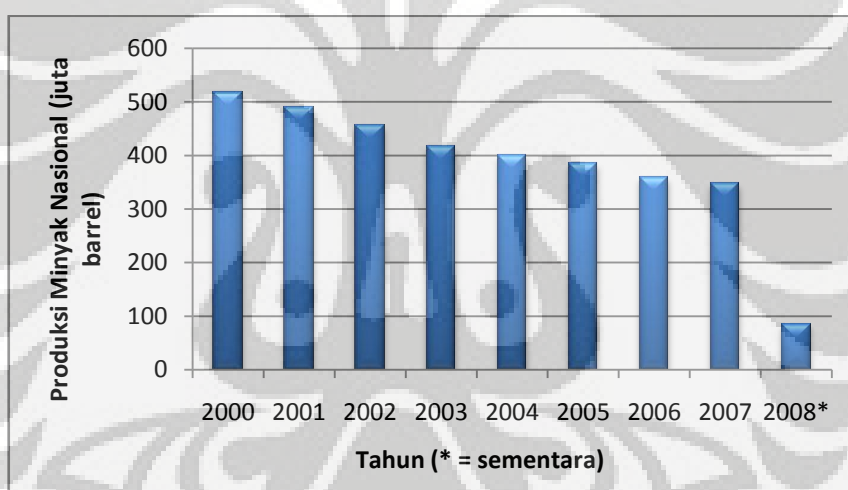
Sejak pertengahan Agustus 2007, pemerintah mulai memberlakukan program konversi minyak tanah ke LPG. Baik minyak tanah maupun LPG merupakan produk hasil pengolahan minyak bumi, namun program konversi ini akan mengurangi subsidi pemerintah untuk bidang energi serta penggunaan LPG akan menghasilkan emisi yang lebih sedikit sehingga lebih ramah lingkungan. Jika program konversi ini sukses secara nasional maka akan mampu mengurangi subsidi negara hingga 15-20 triliun rupiah per tahunnya (Pertamina, 2008).

Dampak dari program konversi minyak tanah ke LPG ini adalah meningkatnya kebutuhan masyarakat akan LPG hingga mencapai 1553 ribu M ton pada tahun 2008 bahkan diproyeksikan sampai tahun 2025 permintaan akan LPG bisa mencapai dua kali lipat permintaan saat ini (Purwanto et al. 2006). Akan tetapi meningkatnya permintaan LPG ini tidak diikuti dengan ketersediaan LPG sehingga menimbulkan kelangkaan LPG yang terjadi di beberapa wilayah seperti Bandung, Yogyakarta, Semarang dan banyak lagi. Karenanya ketersediaan LPG di masa depan adalah suatu masalah yang harus menjadi perhatian yang cukup serius.

Salah satu cara untuk memenuhi permintaan kebutuhan LPG adalah dengan meningkatkan produksi LPG di kilang – kilang Pertamina. Namun, peningkatan produksi LPG memiliki beberapa kendala karena membutuhkan

tambahan investasi yang cukup besar serta persediaan bahan baku LPG yaitu minyak bumi yang semakin menipis.

Cadangan minyak terbukti Indonesia saat ini adalah sebesar 8 miliar barrel yang hanya cukup untuk 10 tahun lagi. Menipisnya cadangan minyak disertai kurangnya investasi di bidang eksplorasi menyebabkan semakin menurunnya produksi minyak nasional. Hal ini dapat berdampak negatif bagi ketersediaan LPG di Indonesia mengingat ketergantungan masyarakat terhadap LPG sebagai bahan bakar dalam memasak akan semakin besar seiring berjalannya program konversi. Oleh karena itu, ketersediaan bahan baku LPG harus mulai menjadi perhatian salah satu caranya adalah dengan mengembangkan sumber bahan bakar alternatif untuk menghasilkan LPG.



Gambar 1. 1. Grafik Produksi Minyak Nasional (Rini & Ratna, 2008)

Pada hakikatnya LPG merupakan bahan bakar yang terdiri dari hidrokarbon fraksi C_3 dan C_4 yang dicairkan. Oleh karena itu, kita dapat mengembangkan bahan baku alternatif untuk proses pembuatan LPG ini salah satunya dengan cara merengkah hidrokarbon fraksi berat yang banyak terdapat pada minyak nabati untuk memperoleh fraksi C_3 dan C_4 . Fraksi hidrokarbon C_3 dan C_4 juga dapat digunakan menjadi bahan baku industri petrokimia sehingga keberhasilan dalam memperoleh fraksi C_3 dan C_4 dari minyak nabati akan mengurangi ketergantungan industri petrokimia pada minyak bumi serta

menghasilkan produk yang bisa diuraikan (*degradable*) sehingga akan mengurangi pencemaran tanah.

Pada penelitian ini, bahan baku yang akan digunakan adalah minyak jarak pagar semi mulus (*straight jatropha oil-SJO*) di mana SJO tersebut akan direngkah secara katalitik untuk mendapatkan fraksi C₃ dan C₄. Perengkahan katalitik merupakan teknik yang umum digunakan dalam proses pengolahan minyak bumi di mana terjadi pemutusan rantai hidrokarbon panjang dengan menggunakan bantuan katalis untuk menurunkan energi aktivasi. Selain digunakan di dalam pengolahan minyak bumi, perengkahan katalitik juga seringkali digunakan untuk mengkonversi minyak nabati menjadi bahan bakar, yang umum dilakukan adalah perengkahan katalitik CPO untuk memperoleh fraksi bensin. Perengkahan minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis ZSM-5 menghasilkan konversi 95.99 % berat dengan yield 36.45 % berat fraksi *gasoline* dan 12.54 % berat fraksi C₁ – C₄ (Twaiq, Zabidi, & Bhatia, 1999).

Pada penelitian ini, katalis alumina digunakan untuk merengkah minyak jarak. Penggunaan katalis alumina dalam perengkahan katalitik minyak nabati telah dilakukan di Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia pada sintesis fraksi gasoline dari CPO di mana reaksi tersebut berhasil menurunkan densitas dari CPO menjadi 597 gram/mol dari 849 gram/mol (Moestika dkk, 2004). Penelitian sebelumnya telah berhasil merengkah CPO menjadi fraksi C₃ dan C₄ dengan menggunakan katalis alumina di mana diperoleh konversi 50,09% dengan selektivitas produk C₃ sebesar 2,12% dan produk C₄ sebesar 11,53% (Hidayat, 2007).

Minyak jarak pagar itu sendiri mempunyai sifat yang mirip dengan CPO, yaitu sebagian besar terdiri dari trigliserida yang merupakan senyawa hidrokarbon rantai panjang seperti pada minyak bumi. Kelebihan utama dari minyak jarak ini adalah sifatnya yang non-edibel sehingga penggunaan minyak jarak sebagai sumber bahan bakar tidak akan berbenturan dengan kebutuhan pangan masyarakat seperti pada CPO. Telah dipublikasikan sebelumnya perengkahan katalitik minyak jarak dapat dilakukan dengan menggunakan katalis 5% H-ZSM-5/Alumina di mana pada penelitian ini, sebelum direngkah minyak jarak pagar dicampur dengan senyawa ABE (Aseton, Butanol, dan Etanol) terlebih dahulu (Iskandar, 2007).

Salah satu perbedaan yang dimiliki minyak jarak adalah jumlah ikatan rangkapnya yang lebih banyak jika dibandingkan dengan CPO. Hal ini diketahui dari komponen penyusunnya yang mayoritas terdiri dari asam oleat (18:1) dan asam linoleat (18:2). Ikatan rangkap ini memiliki kestabilan yang kurang jika dibandingkan dengan ikatan tunggal sehingga pemutusan ikatan rangkap akan membutuhkan energi yang lebih sedikit. Dengan demikian, perengkahan katalitik akan lebih mudah untuk dilakukan pada minyak jarak jika dibandingkan dengan menggunakan CPO.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini adalah:

1. Apakah minyak jarak pagar dapat direngkah secara katalitik dengan menggunakan katalis alumina untuk memperoleh fraksi C_3 dan C_4 .
2. Bagaimana memperoleh hidrokarbon ringan fraksi C_3 dan C_4 dengan yield dan konversi yang tinggi dari minyak jarak pagar, melalui reaksi perengkahan katalis menggunakan katalis alumina pada fasa cair dan tekanan atmosferik dengan *batch reactor*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Mensintesis produk hidrokarbon C_3 dan C_4 dari minyak jarak pagar melalui proses perengkahan katalitik pada fasa cair dan tekanan atmosferik dengan menggunakan katalis alumina dan dflangsungkan secara *batch*.
2. Mengidentifikasi terjadinya reaksi perengkahan serta mengetahui fraksi-fraksi yang dihasilkan melalui analisa produk gas dan cair.
3. Mengetahui kondisi operasi (suhu dan rasio massa katalis/minyak jarak pagar) optimum sehingga didapatkan konversi dan yield fraksi hidrokarbon C_3 dan C_4 yang tinggi sebagai parameter efektivitas reaksi perengkahan katalitik.

1.4 Batasan Masalah

Pada penelitian ini, penulis membatasi pembahasan sebagai berikut:

1. Minyak jarak pagar yang digunakan adalah *Straight Jatropha Oil* (SJO) yaitu minyak jarak pagar yang telah dibersihkan pengotor – pengotornya.
2. Reaksi perengkahan katalitik dilakukan secara *batch*/tumpak pada fasa cair dan tekanan atmosferik.
3. Reaksi perengkahan katalitik SJO dilakukan dengan menggunakan katalis JRC-ALO-7 (*Japan Reference Catalyst*)/Alumina (Al_2O_3)

1.5 Sistematika Penulisan

Skripsi ini ditulis berdasarkan sistematika sebagai berikut:

BAB 1 PENDAHULUAN

Berisi tentang latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, pembatasan masalah, dan sistematika penulisan

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Berisi tentang teori umum tentang LPG, bahan baku petrokimia (*petrochemical building block*), minyak jarak pagar, katalis alumina yang digunakan dalam reaksi perengkahan, proses perengkahan katalitik pada minyak bumi dan kelapa sawit, serta penelitian – penelitian sebelumnya sebagai dasar dari penelitian ini.

BAB 3 METODE PENELITIAN

Berisi tentang prosedur penelitian, alat dan bahan yang digunakan, analisa produk, dan pengolahan data.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Berisi tentang penyajian data penelitian yang diperoleh, analisis kecenderungan pada berbagai variasi variabel bebas, dan pembahasan mengenai fenomena yang terjadi dalam proses perengkahan

BAB 5 KESIMPULAN

Berisi tentang kesimpulan yang dapat diambil berdasarkan percobaan yang dilakukan terkait dengan tujuan dari penelitian ini.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

2.1 LPG (Liquified Petroleum Gas)

LPG merupakan sebutan untuk komponen-komponen hidrokarbon yang terutama terdiri dari fraksi C₃ dan C₄ dalam fasa liquid. Sifat-sifat yang dimiliki oleh LPG di antaranya adalah:

Tabel 2. 1. Tabel karakteristik LPG (Wikipedia, 2008)

Keadaan fisik	Gas (tidak berwarna, tidak korosif, merupakan gas yang dicairkan kemudian di kompresi yang ditambahkan bau.
Warna	Tidak berwarna
Bau	Tidak berbau (bau-bauan seperti mercaptans ditambahkan sebagai peringatan akan kebocoran)
Titik didih	> - 42.22 °C (-44°F)
Specific Gravity	0.51 (air = 1)
Densitas gas	1.5 (udara = 1)
Volatilitas	100%
Solubilitas	N/A

Program konversi minyak tanah ke LPG yang dilakukan oleh pemerintah selain bertujuan mengurangi subsidi negara terhadap minyak tanah, juga dapat mengurangi pencemaran udara oleh emisi pembakaran. Hal ini disebabkan karena LPG tersusun dari hidrokarbon rantai pendek sehingga pembakarannya akan lebih sempurna, efisiensi lebih tinggi, dan emisi yang dihasilkan lebih rendah dibandingkan dengan minyak tanah. Oleh karena itu, ketersediaan LPG harus menjadi perhatian khusus mengingat semakin meningkatnya kebutuhan

masyarakat akan LPG karena adanya program konversi. Penelitian ini diharapkan dapat menghasilkan C₃ dan C₄ serta isomernya dengan bahan baku minyak jarak pagar sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku LPG.

Tabel 2. 2. Perbandingan antara minyak tanah dan LPG (Wikipedia, 2008)

	Minyak Tanah	LPG
Jumlah atom C	9-14 atom	3-4 atom
Efisiensi energi	20%	40%
Nilai kalor	34.8 giga joule/m ³	41.7 giga joule/m ³
Konsumsi (per tahun)	10 juta kilo liter	(setara dengan) 5.7 juta ton
Harga	Rp.6000,00 /liter	Rp.7000,00 /kg
Subsidi	Rp.4000,00 /liter	
Total subsidi (per tahun)	Rp. 40 trilliun	dapat menghemat Rp. 21 trilliun
Emisi (untuk menghasilkan 34.8 Gjoule/m ³)	0.00455 liter gas dan 0.91 x 10 ⁻⁶ gr DPM	0.00294 liter gas

2.2 Bahan Baku Petrokimia (Petrochemical Building Block)

Bahan baku petrokimia adalah segala bahan yang dibuat atau dihasilkan secara sintetik dari minyak dan gas bumi atau komponennya. Di samping itu, dapat juga digunakan sumber hidrokarbon lainnya seperti batu bara. Industri petrokimia dapat dibagi atas dua bagian besar, yaitu:

1. Industri petrokimia hulu atau *upstream petrochemical industry*, yaitu industri yang menghasilkan produk petrokimia yang masih berupa produk dasar atau produk primer dan produk antara atau produk setengah jadi (masih dapat diproses kembali menjadi produk jadi)
2. Industri petrokimia hilir atau *downstream petrochemical industry*, yaitu industri yang menghasilkan produk petrokimia yang sudah berupa produk akhir atau produk jadi.

Produk petrokimia itu sendiri berdasarkan proses pembentukan dan pemanfaatannya dapat dibagi atas empat jenis, yaitu:

1. Produk dasar, antara lain adalah gas CO dan H₂ sintetik, etilena, propilena, butilena, butadiena, benzena, toluena, xilena dan n-parafin.
2. Produk antara, antara lain adalah amonia, metanol, etil alkohol, etil klorida, PTA, dan lain-lain.
3. Produk akhir antara lain adalah urea, formaldehida, asetilena, polietilena, polipropilena, polivinilklorida, trinitrotoluene, dan lain-lain.
4. Produk jadi, pada umumnya berupa barang-barang atau bahan-bahan yang dalam kehidupan kita sehari-hari banyak dipakai, seperti plastik-plastik untuk produk elektronik dan telekomunikasi, baju, kaus kaki, sabun deterjen, dan lain-lain.

Penelitian ini diharapkan menghasilkan C₃ dan C₄ serta isomernya sehingga dapat dimanfaatkan menjadi bahan baku petrokimia.

Berdasarkan struktur kimianya, bahan baku petrokimia dapat dikelompokkan menjadi olefin (termasuk etilena dan propilena) serta aromatic (termasuk benzene dan isomer xilena). Pada pengolahan minyak bumi, olefin merupakan produk dari perengkahan hidrokarbon fraksi berta baik melalui steam cracking maupun catalytic reforming. Sedangkan aromatic merupakan produk dari catalytic reforming atau sejenisnya.

Hidrokarbon C₃ dan C₄ dalam bentuk olefin memiliki ikatan rangkap terbuka yang sangat reaktif, sehingga mudah berpolimerisasi antara satu dengan yang lainnya membentuk polirner. Produk petrokimia hilir dari jalur olefin ini adalah berbagai jenis bahan baku plastik berupa resin plastik yang berbentuk bubuk, butir atau kristal padat.

- Bahan baku propilena (C₃H₆) akan menghasilkan produk polipropilena (PP), isobutilasetat, akrilat, fenol, dan karet etilen propilena.
- Bahan baku butilena (C₄H₈)/butadiena (C₄H₆) akan menghasilkan produk polibutadiena (karet sintetik untuk industri ban).

2.3 Jarak Pagar

2.3.1 Tanaman Jarak Pagar

Tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas linneaus*) merupakan tanaman asli Amerika tropis yang termasuk dalam kerabat klasifikasi tanamn (*family*) *Euphorbiaceae*. Tanaman ini memerlukan curah hujan minimum 600 mm/tahun dan bisa tahan tumbuh dalam musim kemarau panjang antara 7 – 8 bulan. Namun demikian, tanaman ini juga dapat tumbuh baik dengan curah hujan lebih dari 200 mm/tahun. Tanaman jarak pagar dapat tumbuh pada berbagai jenis kondisi tanah sehingga dapat digunakan untuk memberdayakan lahan kritis.



Gambar 2. 1. Tanaman Jarak Pagar (Manurung, 2005)

Secara fisik, tanaman dengan tinggi 3-5 meter ini tidak memiliki fungsi lebih selain sebagai pagar hidup dan buahnya tidak bisa dikonsumsi (non-edibel) karena bisa menyebabkan keracunan. Walaupun tidak dapat dikonsumsi, tanaman ini memiliki banyak manfaat. Daunnya untuk makanan ulat sutra, antiseptik, dan antiradang, sedangkan getahnya untuk penyembuh luka dan pengobatan lain. Yang paling tinggi manfaatnya adalah buahnya. Daging buahnya bisa untuk pupuk hijau dan produksi gas, sementara bijinya untuk pakan ternak (dari varietas tak beracun) dan yang dalam pengujian sudah terbukti adalah untuk bahan bakar pengganti minyak diesel (solar) dan minyak tanah. Hal ini terkait dengan kandungan yang terdapat pada tanaman jarak pagar tersebut yang dapat dilihat pada Tabel 2.3.

Tabel 2. 3. Kandungan Tanaman Jarak Pagar

Bagian Tumbuhan	Kandungan
Daun dan Batang	saponin, flavonoida, tannin, senyawa polifenol
Biji	senyawa alkohol, saponin, kursin, minyak/ lemak (35-45%)
Getah	Tannin (11-18%)

2.3.2 Minyak Jarak Pagar

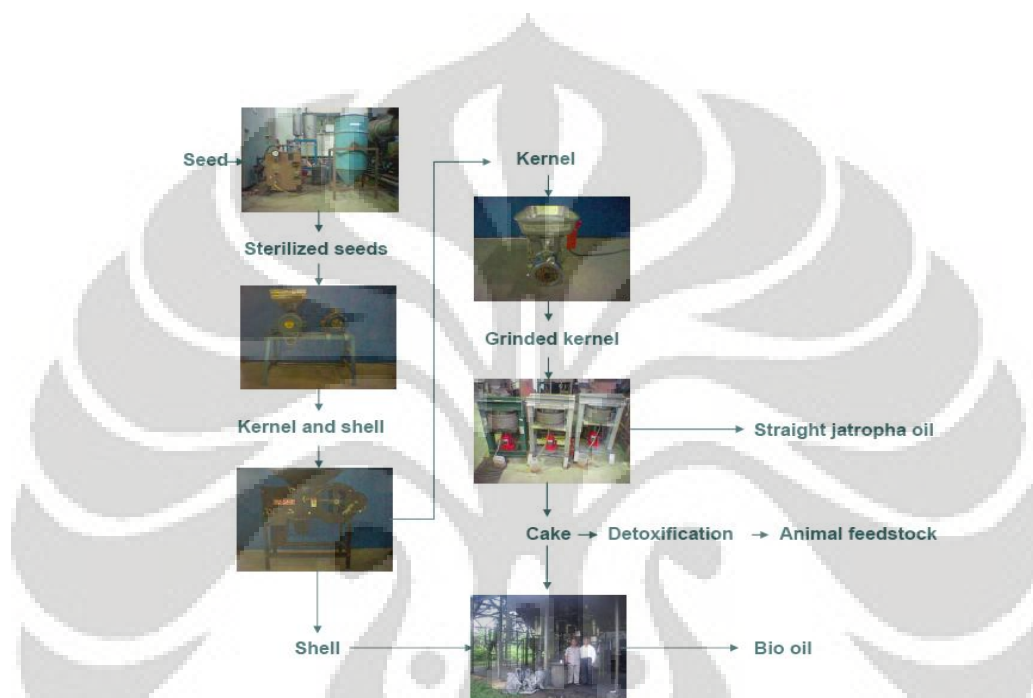
Minyak jarak pagar adalah minyak nabati yang diperoleh dari pengolahan biji tanaman jarak pagar (*Jatropha curcas L.*). Minyak jarak sendiri telah banyak digunakan pada jaman penjajahan sebagai bahan bakar untuk menyalakan obor. Karena merupakan minyak nabati, maka emisi yang dihasilkan dari minyak jarak pagar ini akan lebih rendah jika dibandingkan dengan bahan bakar fosil.

Tabel 2. 4. Sifat Fisik dan Kimia Minyak Jarak Pagar (Kandpal & Madan, 1994)

Parameter	Minyak Jarak Pagar (<i>Jatropha Oil</i>)
Densitas pada 15°C	0,9181 g/cm ³
Viskositas pada 30°C	50,80 cSt
Titik Nyala	290°C
Kandungan sulfur	< 1 ppm
Iodine Value	96,5 mg iodine/g
Acid Value	3,08 mg KOH/g
Nilai kalori	35,58 MJ/kg

Proses pembuatan minyak jarak pagar dimula dari pembersihan biji jarak pagar dari kulit serta pengotor lainnya. Biji jarak yang sudah bersih ini kemudian dimasak pada suhu 80°C pada kondisi kedap udara kemudian dikeringkan pada suhu 100°C hingga kadar airnya mencapai 4%. Biji jarak yang telah kering tersebut kemudian ditekan dengan penekan ulir atau hidrolisis. Tahapan selanjutnya adalah menyaring dengan menggunakan mesin penyaring sehingga

dihasilkan minyak jarak bersih. Kemudian dilakukan proses pemurnian terhadap minyak jarak yang sudah bersih tersebut, sehingga menghasilkan minyak jarak murni yang siap untuk di jual. Ampas dari pengolahan minyak jarak pagar ini dapat digunakan sebagai pupuk tanaman ataupun didetoksifikasi untuk menjadi pakan hewan.



Gambar 2. 2. Diagram Alir Pengolahan Biji Tanaman Jarak Pagar Menjadi Minyak Jarak (Manurung, 2005)

Potensi dari pengembangan minyak jarak pagar di Indonesia amat menjanjikan karena cukup mendapat perhatian dari pemerintah. Hal ini ditunjukkan dengan dirintisnya penelitian serta pengembangan dari minyak jarak pagar ini baik oleh instansi pemerintah maupun akademis.

Apabila dibandingkan dengan CPO, maka minyak jarak pagar memiliki beberapa kelebihan yang ditunjukkan pada tabel 2.5. Terkait dengan penelitian ini, maka kelebihan utama minyak jarak pagar terletak pada sifatnya yang bukan merupakan minyak pangan sehingga pemakaian minyak jarak pagar sebagai sumber energi tidak akan bertentangan dengan kebutuhan pangan manusia.

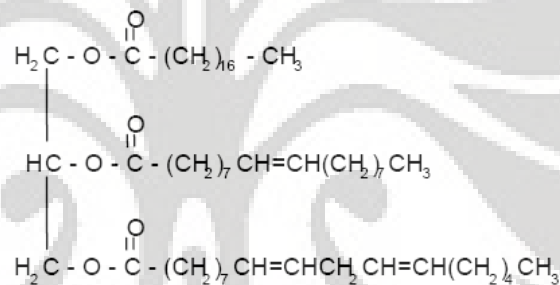
Tabel 2. 5. Perbandingan Minyak Jarak Pagar dengan CPO (Giwangkara, 2006)

	Minyak Jarak Pagar	Crude Palm Oil
Pembudidayaan	mampu tumbuh di lahan kritis sekalipun dengan berbagai kondisi tanah dan tahan kekeringan	membutuhkan lahan khusus, ketinggian daerah, dan faktor iklim tertentu
Biaya Operasi	20 – 25 % dari besar pendapatan hasil produksi	40 – 50 % dari besar pendapatan hasil produksi
Masa panen	Sejak tanaman berumur 5 – 8 bulan dan menjadi stabil setelah tahun pertama	Sejak tahun ketiga
Produktivitas	satu hektar lahan dapat menghasilkan sekitar 5 ton minyak per tahun	Satu hektar lahan mampu menghasilkan 25 ton tandan kelapa sawit segar per tahun yang dapat diolah menjadi 5 ton CPO
Usia Produktif	20 – 50 tahun	20 tahun
Edibilitas	Non – edible	edibel
Harga	Rp 2.000 – Rp 4.000/kg	Rp 8000/kg

Penelitian ini bertujuan untuk merengkah hidrokarbon fraksi C_3 dan C_4 dari minyak jarak pagar di mana minyak jarak yang digunakan dalam penelitian ini adalah *straight jatropha oil* (SJO). SJO adalah minyak jarak pagar yang telah mengalami pengolahan lebih lanjut dengan proses trans-esterifikasi menggunakan metanol untuk memisahkan air. Reaksi tersebut tergolong sederhana dan hanya diperlukan sekitar 10 persen metanol. Hampir 100 persen minyak dapat dimurnikan, bahkan menghasilkan produk samping gliserol yang juga bernilai ekonomi.

Gambar 2. 3. *Straight Jatropha Oil (SJO)*

Sama halnya dengan minyak kelapa sawit, minyak jarak pagar sebagian besar tersusun dari trigliserida di mana struktur molekul komponen penyusun jarak pagar adalah sebagai berikut:



Gambar 2. 4. Struktur Molekul Komponen Penyusun Minyak Jarak Pagar (Manurung, 2005)

Trigliserida memiliki hidrokarbon dengan rantai panjang yang mirip dengan struktur minyak bumi. Oleh karena itu, trigliserida yang terkandung di dalam minyak kelapa sawit dapat direngkahkan demikian pula halnya dengan minyak jarak pagar. Apabila kita membandingkan komponen – komponen utama penyusun minyak jarak pagar dengan CPO, maka:

Tabel 2. 6. Perbandingan Komponen Penyusun Minyak Jarak Pagar dengan CPO (Gubitz, Mittelbach, & Trabi, 1999)

Fatty Acid		Jatropha	Palm
Miristic	14:0	0 – 0.1	0.9 – 1.5
Palmitic	16:0	14.1 – 15.3	39.2 – 45.8
Stearic	18:0	3.7 – 9.8	3.7 – 5.1
Arachidic	20:0	0 – 0.3	0 – 0.04

Universitas Indonesia

Behenic	22:0	0 – 0.2	NA
Palmitoleic	16:1	0 – 1.3	0 – 0.4
Oleic	18:1	34.3 – 45.8	37.4 – 44.1
Linoleic	18:2	29.0 – 44.2	8.7 -12.5
Linolenic	18:3	0 – 0.3	0 – 0.6

Dari tabel II-5 dapat dilihat bahwa komponen utama dari minyak jarak pagar adalah asam oleat dan asam linoleat yang memiliki jumlah ikatan rangkap yang lebih banyak terutama jika dibandingkan dengan komponen utama dari CPO yaitu asam palmitat dan asam oleat. Ikatan rangkap memiliki kestabilan yang kurang jika dibandingkan dengan ikatan tunggal sehingga akan lebih mudah untuk dilakukan pemutusan ikatan (perengkahan). Oleh karena itu, perengkahan minyak jarak akan lebih mudah dilakukan jika dibandingkan dengan CPO.

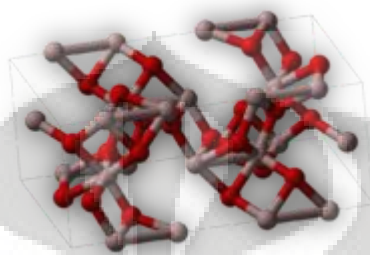
2.4 Katalis Alumina (Al_2O_3)

Katalis adalah senyawa yang meningkatkan laju reaksi di mana suatu reaksi kimia mencapai kesetimbangan tanpa terlibat secara permanen di dalam reaksi. (Richardson, 1989). Aluminium oksida (Al_2O_3), yang biasa disebut alumina, merupakan senyawa kimia yang terdiri atas unsur aluminium dan oksigen. Alumina merupakan salah satu jenis katalis asam yang umum diaplikasikan pada proses perengkahan katalitik seperti FCC pada pengolahan minyak bumi. Adapun sifat fisik dan sifat kimia alumina adalah sebagai berikut:

Tabel 2. 7. Sifat Fisik dan Kimia Al_2O_3 (Wikipedia, 2008)

Rumus Kimia	Al_2O_3
Bentuk	Bubuk kristalin putih atau padat
Berat Molekul	101,96 gram/mol
Titik Leleh	2054°C
Titik Didih	2980°C
Densitas	$3,97 \times 10^3 \text{ kg/m}^3$

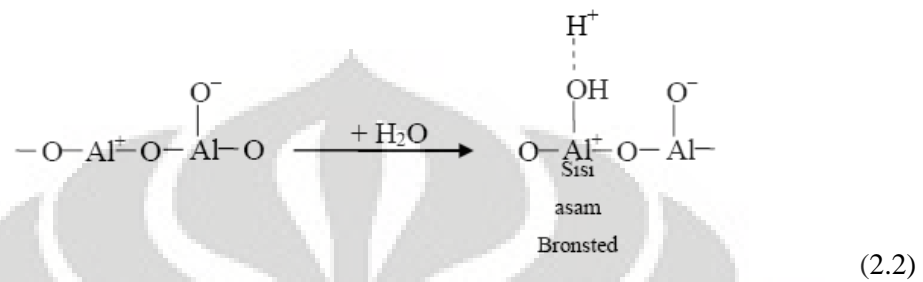
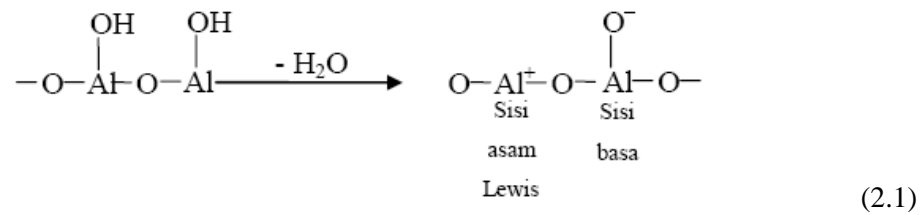
Alumina terdiri dari alumina amorf dan alumina dengan struktur trigonal. Alumina dalam bentuk amorf memiliki kekuatan asam yang lebih rendah daripada alumina dengan struktur trigonal karena distribusi atom alumina yang tidak.



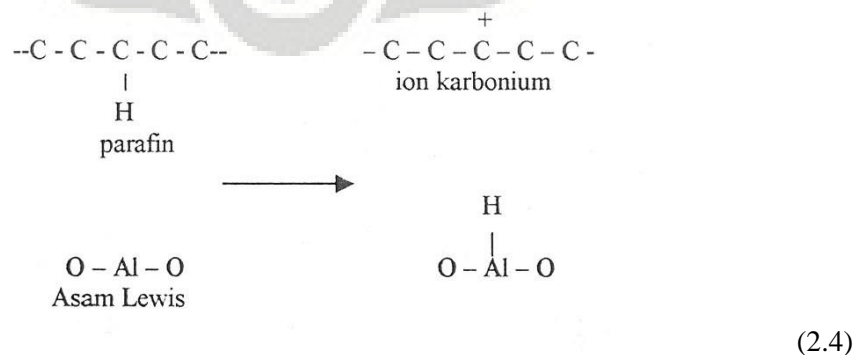
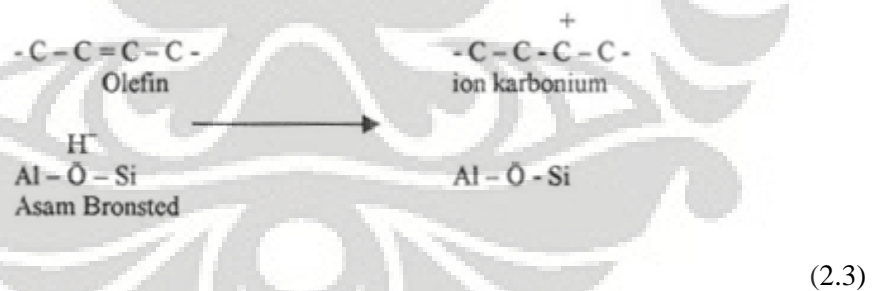
Gambar 2. 5. Struktur Molekul Alumina (Wikipedia, 2008)

Pemilihan katalis untuk reaksi perengkahan katalitik dipilih berdasarkan sifat keasamannya. Katalis alumina merupakan salah satu katalis yang memiliki sifat asam yang cocok digunakan untuk merengkahkan senyawa yang memiliki rantai karbon yang panjang menjadi lebih pendek. Kekuatan asam pada katalis alumina terletak pada sisi asam katalis yang diasosiasikan dengan atom aluminium. Aluminium dengan keasaman yang tinggi dikelilingi oleh atom oksigen yang memiliki keelektronegatifan yang baik.

Pada penelitian ini, katalis alumina dipreparasi terlebih dahulu dengan dikalkinasi pada suhu 300°C selama 1 jam. Preparasi ini bertujuan untuk mengaktivasi katalis alumina serta untuk menghilangkan air yang terperangkap pada pori alumina. Penghilangan air akan mengaktifkan asam Lewis dari alumina, sementara itu asam Bronsted akan terbentuk karena adsorbs air pada permukaan katalis alumina (Richardson, 1989).



Sisi Bronsted akan menginisiasi reaksi ion karbonium dengan memberikan H^+ yang menyebabkan putusya ikatan π pada olefin sehingga salah satunya akan berikatan dengan H^+ tersebut sementara yang lainnya akan bermuatan positif (ion karbonium). Sementara sisi Lewis akan memberikan reaksi ion radikal di mana Al akan menarik H dari suatu paraffin sehingga paraffin tersebut akan membentuk ion karbonium. Keduanya ada meskipun pada prakteknya asam Bronsted lebih dominan.



Katalis alumina memiliki selektivitas yang kecil sehingga dapat menghasilkan produk yang beragam. Selektivitas katalis juga bergantung pada ukuran reaktan yang akan direaksikan. Jika ukuran pori katalis semakin mendekati ukuran pori reaktan maka selektivitas akan tinggi karena molekul reaktan dapat berdifusi dengan efektif ke dalam pori katalis. Tetapi jika ternyata ukuran pori katalis sangat besar dibandingkan ukuran pori produk maka molekul reaktan berdifusi ke bagian sisi inti aktif mana saja sehingga produk yang dihasilkan akan sangat beragam.

Jenis katalis alumina yang digunakan pada penelitian ini adalah JRC-ALO-7, dengan komposisi sebagai berikut:

Tabel 2. 8. Kandungan Katalis JRC-ALO-7

Jenis Katalis	JRC – ALO – 7
% Fe ₂ O ₃	<0,01
% SiO ₂	<0,01
%Na ₂ O	<0,0015
%TiO ₂	-
%Cl	<0,2
%Al ₂ O ₃	>99,6885
Luas Permukaan	180 m ² /gram
Struktur	Amorf

2.5 Mekanisme Perengkahan Katalitik

Dalam ilmu kimia, perengkahan adalah proses konversi molekul-molekul organik kompleks menjadi molekul-molekul yang lebih sederhana dengan putusannya ikatan karbon-karbon dalam rantai molekul tersebut. Laju perengkahan dan produk akhirnya sangat kuat bergantung terhadap temperatur dan keberadaan katalis.

Perengkahan katalitik merupakan proses pemutusan rantai hidrokarbon panjang dengan menggunakan bantuan katalis (Speight, 1991). Dalam

kebanyakan reaksi *cracking* sebuah paraffin, reaksi utama adalah reaksi dealkilasi sesuai dengan persamaan berikut:



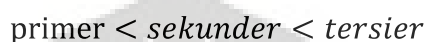
Reaksi perengkahan mengarahkan terbentuknya sebuah olefin dan parafin yang lebih pendek. Dalam reaksi perengkahan, olefin lebih mudah untuk direngkah dari pada parafin dan juga lebih cepat mengalami isomerisasi dan pembentukan *coke*. Diolefin dan olefin aromatik bahkan lebih cepat mengalami perengkahan, penjumlahan, terpolimerisasi, dan terkonversi menjadi *coke*.

Walaupun perengkahan dapat terjadi karena mekanisme radikal bebas pada kenaikan temperatur dan dapat diakselerasi oleh permukaan non asam seperti arang, akifitas terbaik tanpa gas ringan dan *coke* dapat terjadi dengan bantuan katalis yang memiliki kemampuan transfer proton. Penggunaan katalis akan menurunkan energi aktivasi reaksi sehingga energi kalor yang dibutuhkan lebih sedikit. Perengkahan secara katalitik dari suatu paraffin dapat 5 sampai 60 kali lebih cepat dibandingkan dengan perengkahan secara termal. Hal ini menyebabkan reaksi perengkahan katalitik dapat dilangsungkan pada suhu operasi lebih rendah dibandingkan dengan perengkahan termal sehingga lebih ekonomis dan aman.

2.5.1 Mekanisme Perengkahan Katalitik Pada Minyak Bumi

Perengkahan minyak bumi merupakan proses pemutusan ikatan hidrokarbon panjang yang terutama bertujuan untuk menghasilkan produk turunannya seperti bensin, solar, dan lain-lain yang memiliki nilai jual tinggi. yang lebih tinggi. Pada awalnya reaksi perengkahan dilakukan dengan menaikkan suhu (*thermal cracking*), namun akhirnya reaksi perengkahan katalitik berhasil menggantikan peran suhu dalam proses ini. Hal ini disebabkan karena perengkahan katalitik mampu menghasilkan produk gasoline dengan yield serta angka oktan yang lebih tinggi. Unit perengkahan katalitik menghasilkan produk yang lebih stabil karena kandungan olefin dalam produk liquid lebih kecil. Hal ini merefleksikan aktivitas transfer elektron yang lebih tinggi sehingga produk hidrokarbon menjadi lebih jenuh.

Proses yang terjadi pada perengkahan katalitik adalah melalui pembentukan produk antara jenis karbokation. Karbokation merupakan atom karbon yang bermuatan positif pada suatu rantai hidrokarbon. Struktur karbokation adalah struktur yang tidak stabil dan memiliki kekuatan asam yang besar, sehingga akan terjadi pemutusan rantai karbon menjadi rantai yang lebih pendek untuk membentuk senyawa yang lebih stabil. Kestabilan dari karbokation tersebut secara berurutan adalah:



di mana karbokation berantai panjang lebih tidak stabil dibanding yang berantai pendek. Pergerakan ion hidrida akan mengubah ion primer menjadi sekunder, sedangkan kelompok metil akan membentuk ion tersier.

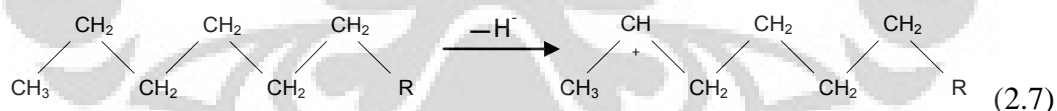
Proses pembentukan karbokation dapat berlangsung melalui mekanisme sebagai berikut:

1. Penambahan proton (H^+) dari katalis asam kepada olefin (Speight, 1991):



Pada reaksi di atas, katalis asam bertindak sebagai penyumbang proton kepada hidrokarbon sehingga disebut sebagai asam Bronsted

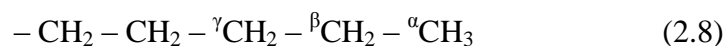
2. Penghilangan ion hidrida (H^-) dari hidrokarbon oleh katalis asam (Venuto & Habib Jr., 1979)



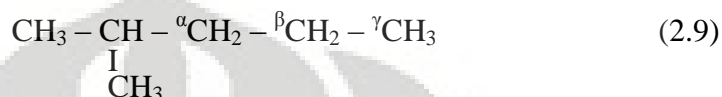
Karbokation yang terbentuk akan menjalani salah satu dari reaksi dasar berikut: pembentukan olefin dan kation yang lebih kecil, isomerisasi posisi intramolekular, transfer hydrogen di mana hidrida dihilangkan dari molekul netral untuk membentuk karbokation baru dan molekul netral lainnya, dan eliminasi untuk membentuk olefin dengan mendonorkan proton ke basa yang sesuai) sehingga produknya lebih bervariasi dibandingkan pada perengkahan termal.

Kelebihan lain dari perengkahan katalitik adalah pemutusan ikatan hidrokarbon terjadi pada suatu lokasi tertentu tidak secara acak seperti pada perengkahan termal (Speight, 1991), contohnya adalah:

- ✘ n – paraffin cenderung terengkah pada ikatan karbon γ



- ✘ i – paraffin terengkah berturut-turut pada ikatan karbon γ dan β terhadap karbon tersier



Pada pengolahan minyak bumi, perengkahan katalitik lebih disukai karena menghasilkan lebih sedikit residu dan lebih banyak fraksi *gasoline* dan fraksi ringan $C_1 - C_4$. Tingkat keasaman katalis berperan penting dalam mengontrol reaksi yang terjadi. Penggunaan katalis dengan keasaman rendah akan menghasilkan reaksi pemutusan ikatan tak jenuh yang lebih lemah. Sedangkan penggunaan katalis dengan keasaman tinggi akan mampu memutuskan ikatan jenuh hidrokarbon.

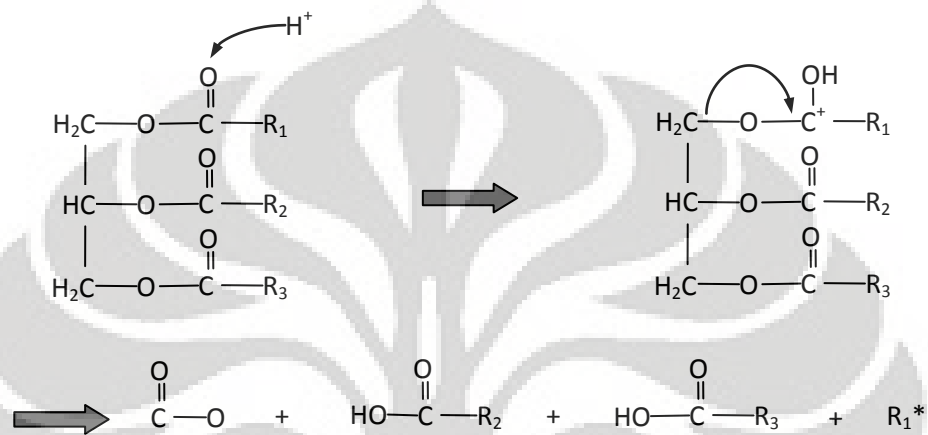
Dengan berdasarkan pada mekanisme perengkahan pada minyak bumi ini, mulai dikembangkan energy alternatif yang berbahan dasar minyak nabati. Minyak nabati dipilih karena tersusun dari trigliserida yang mirip dengan komponen penyusun minyak bumi. Salah satu contoh dari minyak nabati adalah minyak jarak pagar yang akan digunakan dalam penelitian ini.

2.5.2 Mekanisme Perengkahan Katalitik Pada Minyak Kelapa Sawit

Salah satu minyak nabati yang sering digunakan sebagai bahan baku penelitian adalah minyak kelapa sawit karena kandungan hidrokarbon panjang dalam minyak kelapa sawit menyerupai minyak bumi. Oleh karena itu, banyak penelitian dilakukan untuk mengadaptasi proses perengkahan katalitik minyak bumi kepada minyak kelapa sawit. Sama halnya seperti pada minyak bumi, perengkahan katalitik minyak kelapa sawit merupakan proses pemotongan ikatan rantai hidrokarbon panjang pada asam lemak yang terikat pada struktur trigliserida minyak kelapa sawit dengan bantuan katalis.

Secara ringkas, proses perengkahan minyak kelapa sawit ini terdiri atas beberapa tahap (Hidayat dkk, 2007), yaitu:

1. Penghilangan gugus CO₂ pada trigliserida dan pembentukan hidrokarbon dengan katalis asam

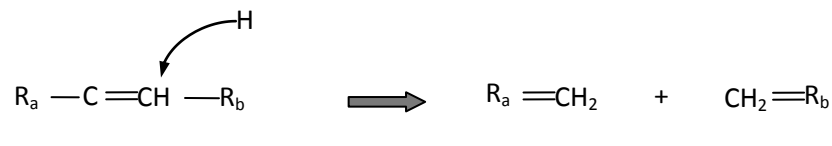


*R₁ merupakan rantai hidrokarbon yang memiliki ikatan rangkap

Gambar 2. 6. Reaksi Penghilangan CO₂

Seperti terlihat pada Gambar, ion H⁺ dari katalis akan menyerang atom O pada C=O sehingga terbentuk karbokation (senyawa karbon bermuatan positif) dan memutuskan rantai ikatan CO₂-C pada ester sehingga menghasilkan CO₂ dan senyawa hidrokarbon yang berasal dari asam lemak.

2. Reaksi Perengkahan dengan katalis asam



Gambar 2. 7. Reaksi Perengkahan Hidrokarbon

Pada Gambar terlihat bahwa ikatan pada hidrokarbon akan diserang oleh ion H^+ pada katalis asam sehingga ikatan karbon terengah membentuk rantai karbon yang lebih pendek. Perengkahan semacam ini dilakukan hingga dihasilkan rantai hidrokarbon dengan 3 – 4 atom karbon.

Berdasarkan pemaparan di atas dapat disimpulkan bahwa fraksi C_3 dan C_4 dapat dihasilkan dari minyak kelapa sawit melalui reaksi perengkahan katalitik apabila katalis yang digunakan dapat melakukan perengkahan lebih lanjut setelah terbentuknya fraksi *biogasoline*. Pada penelitian ini, minyak jarak pagar digunakan sebagai pengganti dari minyak kelapa sawit karena komposisi keduanya yang hampir sama yaitu sebagian besar terdiri dari trigliserida. Pada reaksi perengkahan katalitik rantai ester pada trigliserida akan terkonversi menjadi hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek.

2.6 Penelitian – Penelitian Sebelumnya

Perengkahan katalitik minyak nabati yang telah diteliti dan dipublikasikan selama ini umumnya dilakukan pada minyak kelapa sawit yang bertujuan untuk menghasilkan *biogasoline* (fraksi $C_5 - C_{11}$). Namun pada prosesnya dihasilkan pula fraksi C_3 dan C_4 sebagai produk samping dalam jumlah yang signifikan. Perengkahan minyak kelapa sawit dengan menggunakan katalis ZSM-5 menghasilkan konversi 95.99 %berat dengan yield 36.45 %berat fraksi *gasoline* dan 12.54 %berat fraksi $C_1 - C_4$. Pada penelitian ini reaksi dilangsungkan pada tekanan atmosfer dan suhu $500^\circ C$ secara *semi continuous* di dalam *fixed bed reactor* dengan rasio massa katalis/CPO = 1:7.2 dan rasio Si/Al = 61 (Twaïq, Zabidi, & Bhatia, 1999).

Penggunaan katalis alumina itu sendiri dalam perengkahan katalitik telah dilakukan untuk mensintesis fraksi *gasoline* dari CPO. Proses perengkahan minyak kelapa sawit menggunakan katalis alumina dengan rasio massa katalis 1:100 dilakukan pada suhu $150^\circ C$ selama 15 menit dan berhasil menurunkan berat molekul dari 849 gr/mol menjadi 597 gr/mol dengan struktur molekul menjadi lebih pendek jika dibandingkan senyawa awalnya. Senyawa yang terbentuk

memiliki angka oktana sebesar 111.2 namun viskositasnya masih lebih besar jika dibanding bensin biasa (Moestika, 2004).

Penelitian lebih lanjut menggunakan katalis alumina untuk memperoleh fraksi C₃ dan C₄ melalui perengkahan katalitik CPO. Pada penelitian ini, fraksi C₃ dan C₄ yang awalnya berupa produk samping perengkahan katalitik pada penelitian – penelitian sebelumnya dijadikan sebagai produk utama sehingga diharapkan dapat menghasilkan produk hidrokarbon tersebut dalam jumlah yang besar. Penelitian ini dilakukan pada tekanan atmosfer secara batch pada suhu 370°C dan rasio massa katalis/CPO = 1:125 menghasilkan konversi 50,09% dengan selektivitas produk C₃ sebesar 2,12% dan produk C₄ sebesar 11,53% (Hidayat, 2007).

Penelitian mengenai pengolahan minyak jarak kebanyakan merupakan penelitian untuk pembuatan biodiesel atau biogasoline. Penelitian yang dilakukan di DTK, FTUI berhasil melakukan perengkahan minyak jarak pagar secara termal dan menghasilkan bahan bakar setara solar. Penelitian ini juga menghasilkan kinetika reaksi dari perengkahan termal minyak jarak pagar tersebut (Rohmah, 2008).

Perengkahan katalitik minyak jarak pagar untuk menghasilkan bahan bakar setara bensin telah dilakukan dengan menggunakan katalis 5% H-ZSM-5/Alumina pada reaktor *fixed bed* dan tekanan atmosferik. Sebelum direngkah minyak jarak pagar dicampur dengan senyawa ABE (Aseton, Butanol, dan Etanol) untuk mengatasi kereaktifan gugus ester dan ikatan rangkap rantai karbon pada trigliserida sehingga tidak membentuk reaksi polimerisasi/kondensasi. Hasil optimal diperoleh pada umpan dengan campuran butanol pada suhu 375°C dengan rasio mol 1:5 memberikan konversi 76.51% dan yield bensin 72.67% (Iskandar, 2007).

Penelitian yang akan dilakukan bertujuan untuk merengkah hidrokarbon fraksi C₃ dan C₄ dari minyak jarak pagar dengan menggunakan katalis alumina. Penelitian ini mungkin untuk dilakukan karena minyak jarak pagar tersusun oleh trigliserida sebagai komponen utamanya dengan jumlah ikatan rangkap pada minyak jarak yang lebih banyak dibandingkan dengan CPO. Akan tetapi, jumlah ikatan rangkap yang lebih banyak ini merupakan kelebihan tersendiri bagi minyak

jarak karena perengkahan akan lebih mudah untuk dilakukan pada ikatan rangkap. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan akan memberikan hasil yang lebih baik jika dibandingkan dengan penelitian sebelumnya yang menggunakan minyak kelapa sawit.

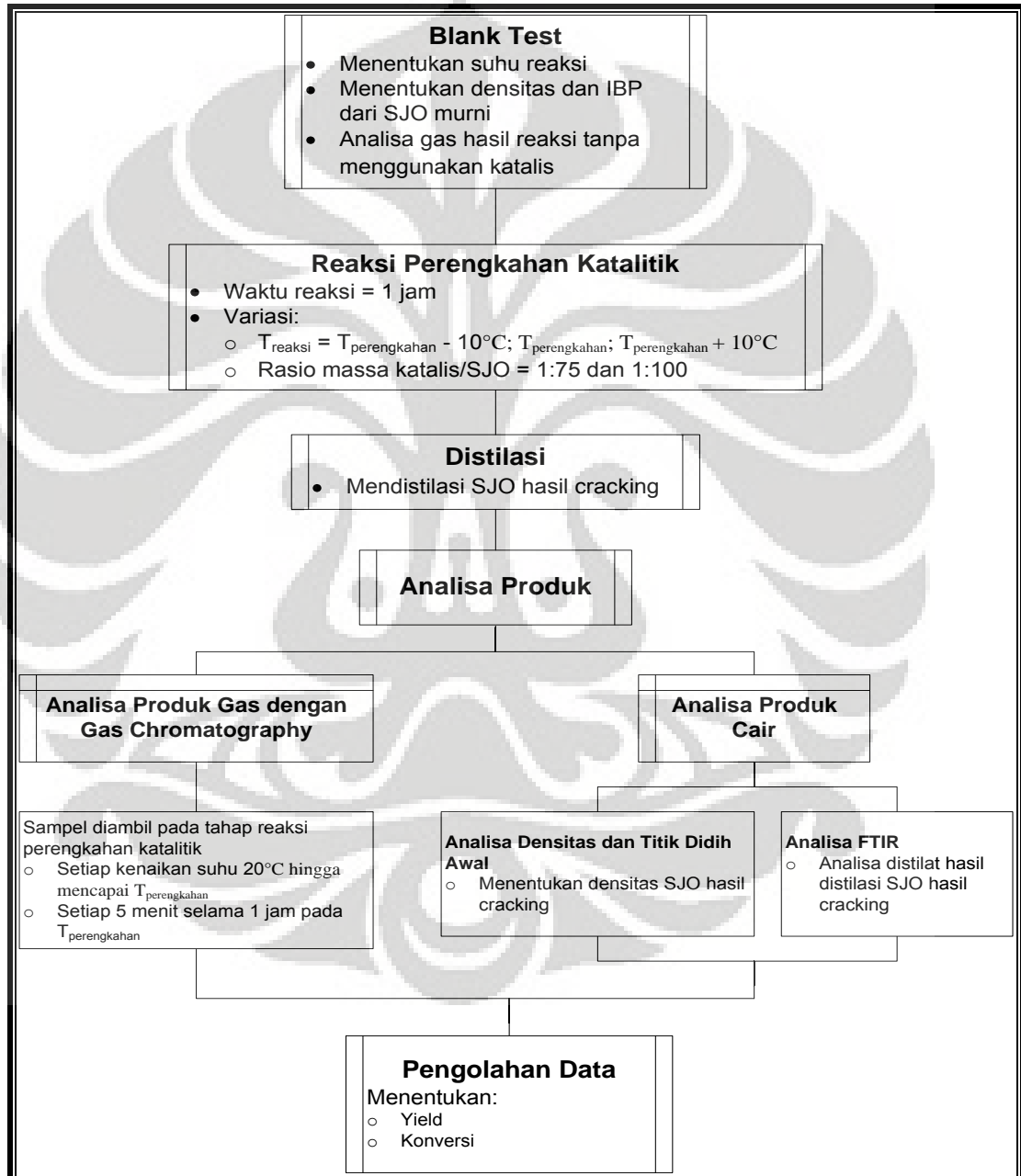
Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Nasikin dkk., diketahui bahwa nilai optimum dari rasio massa katalis/SJO pada reaksi perengkahan katalitik pembuatan *biogasoline* dengan katalis zeolit alam adalah 1 : 75 (Iswara, 2006). Oleh karena itu, pada penelitian ini ditentukan variasi rasio massa katalis/SJO adalah 1: 75 dan 1: 100.



BAB 3

METODE PENELITIAN

Penelitian ini secara umum terdiri atas tahap *blank test*, reaksi perengkahan katalitik, distilasi, analisis produk, dan pengolahan data. Alur penelitian ditunjukkan pada bagan di bawah ini:



Gambar 3. 1. Diagram Alir Penelitian

3.1 Variabel Bebas dan Variabel Terikat

Variabel bebas dari kondisi operasi yang divariasikan pada penelitian ini adalah:

1. Suhu perengkahan katalitik minyak jarak

Suhu perengkahan awalnya ditentukan berdasarkan titik didih awal yang diperoleh pada tahap blank test. Suhu perengkahan selanjutnya divariasikan 10°C lebih tinggi dan 10°C lebih rendah dari suhu perengkahan awal tersebut.

2. Rasio massa katalis/SJO yaitu 1:75 dan 1:100

Sedangkan variabel terikat, yaitu parameter yang akan diamati pada berbagai kondisi operasi, pada penelitian ini adalah:

- a. Konversi
- b. Yield

3.2 Alat dan Bahan

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah:

- | | |
|-----------------------|----------------------------|
| - Reaktor kaca 100 ml | - Kondenser |
| - Stirrer | - Hot plate |
| - Gelas beaker | - Insulator |
| - Gelas ukur | - Stopwatch |
| - Pipet | - Pompa dan selang plastik |
| - Piknometer | - Termokopel |
| - Viskometer | - Gas Trap |
| - Cawan | - Syringe |
| - Sendok | - Gas Chromatography (GC) |
| - Statip | - FTIR |

Bahan-bahan yang digunakan pada penelitian ini adalah

1. Minyak jarak (SJO)
2. Katalis JRC – ALO – 7 (*Japan Reference Catalyst*)/Alumina (Al_2O_3)

3.3 Prosedur Penelitian

3.3.1 Blank Test

Tahap ini bertujuan untuk mengetahui suhu pertama kalinya terbentuk distilat yang menunjukkan titik didih awal dari SJO dan kemudian dijadikan sebagai suhu perengkahan. Selain itu, ditentukan pula densitas dari SJO murni pada suhu 40°C di mana suhu ini merupakan suhu untuk pengukuran densitas dan juga viskositas pada penelitian ini. Data yang diperoleh dari tahap blank test ini nantinya akan digunakan sebagai pembanding dengan produk reaksi untuk mengetahui apakah perengkahan telah terjadi.

Prosedur yang dilakukan pada tahap *blank test* ini adalah sebagai berikut:

- Mengukur densitas dan viskositas SJO murni.
 1. Mengambil 100 ml SJO dalam beaker glass, kemudian mencelupkan termokopel
 2. Memanaskan SJO dalam beaker glass di atas hot plate hingga suhu 120⁰C selama 1 jam sehingga mencair dan hilang kandungan airnya
 3. Mendinginkan SJO cair hingga 40°C untuk kemudian diukur viskositasnya dan densitasnya dengan viskometer dan piknometer
- Menentukan IBP SJO murni.
 1. Memasukkan 20 ml SJO cair ke dalam reaktor dan menimbang massa awal SJO
 2. Melakukan distilasi terhadap SJO dengan mencatat volume dan massa distilat yang dihasilkan pada tiap suhu. IBP merupakan suhu pertama kalinya terbentuk distilat sekaligus merupakan suhu awal dari distilasi. Proses ditahan pada suhu tersebut hingga tidak ada lagi distilat yang dihasilkan. Setelah itu suhu dinaikkan dengan interval 10⁰C dan proses ditahan lagi hingga mencapai suhu optimum distilasi.
 3. Mendinginkan sisa SJO dalam reaktor untuk kemudian ditimbang massa akhir SJO
 4. Setelah dicatat volumenya, distilat pada tiap temperature dicampurkan menjadi satu.
- Analisa gas yang terbentuk dari reaksi tanpa menggunakan katalis.
 1. Memasukkan 20 ml SJO cair ke dalam reaktor.

2. Memasang termokopel pada reaktor dan memanaskan SJO dalam reaktor di atas hot plate
3. Menaikkan suhu hingga mencapai suhu perengkahan kemudian mengambil sampel gas dengan gas trap pada menit pertama dan menit ke-10 untuk kemudian dilakukan analisis GC terhadap gas yang terbentuk.
4. Mematikan hot plate dan mendinginkan sisa SJO dalam reaktor hingga 40°C.
5. Menimbang massa akhir SJO dan mengukur densitasnya dengan menggunakan piknometer

3.3.2 Tahap Reaksi Perengkahan Katalitik Minyak Jarak pagar

Tahap ini bertujuan untuk merengkah SJO menjadi produk-produk yang diinginkan. Adapun prosedur yang dilakukan adalah

1. Mempreparasi katalis dengan cara memanaskannya pada suhu 300°C selama 1 jam kemudian menumbuk untuk memperkecil butirannya.
2. Memasukkan 20 ml SJO cair ke dalam reaktor dan menimbang massa awal SJO
3. Menimbang katalis Al_2O_3 dengan variasi rasio massa katalis/SJO sebesar 1:75 dan 1:100
4. Memasang termokopel pada reaktor dan memanaskan secara bersamaan SJO dalam reaktor dan katalis dalam cawan di atas hot plate.
5. Setelah suhu SJO mencapai 150°C, katalis dan stirrer dimasukkan ke dalam reaktor kemudian kondenser dipasang pada reaktor
6. Menaikkan suhu hingga mencapai suhu perengkahan yaitu: 320°C, 330°C, dan 340°C.
7. Mengambil sampel gas dengan gas trap pada tiap kenaikan suhu 20°C untuk selanjutnya sampel tersebut diinjeksikan ke GC dengan menggunakan syringe.
8. Menahan reaksi selama 1 jam pada suhu perengkahan
9. Mengambil sampel gas setiap 5 menit dengan gas trap untuk kemudian diinjeksikan ke GC dengan menggunakan syringe.
10. Mematikan hot plate dan mendinginkan sisa SJO dalam reaktor hingga 40°C.

11. Menimbang massa akhir SJO dan mengukur densitasnya dengan menggunakan piknometer

3.3.3 Tahap Distilasi

Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan produk ringan distilat yang dihasilkan dari SJO hasil perengkahan untuk kemudian dibandingkan dengan distilat SJO murni. Hal ini akan menjadi bahan analisis dalam pembahasan selanjutnya. Prosedur pada tahap ini adalah sebagai berikut :

1. Menimbang massa awal distilasi dari SJO hasil perengkahan dalam reaktor
2. Melakukan distilasi pada suhu optimum distilasi yang ditentukan pada tahap *blank test*.
3. Mendinginkan sisa SJO dalam reaktor untuk kemudian ditimbang massa akhir SJO
4. Melakukan analisis FTIR terhadap distilat yang diperoleh.

3.3.4 Tahap Analisis Produk Perengkahan

Tahap ini bertujuan untuk mendapatkan data yang berguna dalam perhitungan hasil dan analisis. Berdasarkan IBP dan pengukuran densitas serta hasil dari analisis GC, dan FTIR dapat diperkirakan perubahan jumlah dan komposisi senyawa yang terkandung dalam SJO sebelum dan setelah reaksi perengkahan. Analisis yang dilakukan terhadap produk adalah :

1. *Densitas*

Pengukuran densitas dilakukan terhadap SJO murni, SJO hasil perengkahan katalitik dan distilatnya. Tujuannya adalah untuk mengetahui terjadinya perengkahan dengan menganalisa perubahan densitas. Densitas ditentukan dengan menggunakan alat piknometer (10 ml) sesuai dengan prosedur sebagai berikut :

- a. Menimbang massa piknometer kosong.
- b. Memasukkan sampel pada T_{densitas} ke dalam piknometer hingga hampir penuh.
- c. Menutup piknometer dan memastikan tidak ada gelembung udara.

- d. Menimbang massa piknometer berisi sampel.
- e. Menentukan densitas dengan rumus:

$$\rho = \frac{\text{massa piknometer berisi sampel} - \text{massa piknometer kosong}}{\text{volume sampel (10 ml)}} \quad \dots(7)$$

2. *Gas Chromatography* (GC)

Analisis GC bertujuan untuk mengetahui jenis dan komposisi dari komponen yang terdapat dalam sampel. Sampel yang dianalisa adalah produk gas hasil reaksi perengkahan minyak jarak. Sampel diambil dengan menggunakan gas trap yang telah divakum terlebih dahulu kemudian diinjeksikan ke GC dengan menggunakan *syringe*. Sampel yang digunakan diambil dengan ketentuan sebagai berikut:

- Untuk suhu reaksi 320°C, sampel diambil dari suhu 180°C hingga mencapai $T_{\text{perengkahan}}$ dengan interval kenaikan suhu 20°C.
- Untuk semua variasi suhu, sampel diambil setiap 5 menit selama 1 jam pada $T_{\text{perengkahan}}$.

Analisis GC dilakukan di laboratorium RPKA.

3. *Forier Transform Infra Red* (FTIR)

Analisis FTIR bertujuan untuk mengetahui jenis ikatan kimia dari senyawa-senyawa yang terkandung dalam sampel. Analisis ini digunakan untuk untuk membandingkan ikatan kimia yang terdapat dalam produk cair hasil distilasi dari SJO hasil perengkahan dan SJO murni. Analisis FTIR dilakukan di laboratorium RPKA.

3.3.5 Tahap Penyajian dan Pengolahan Data

Penyajian data dari parameter yang dicari adalah sebagai berikut :

1. Reaktan
 - a. Massa SJO pada awal tahap reaksi perengkahan katalitik minyak jarak pagar.
2. Produk

- a. Produk gas ditentukan dari sejumlah massa yang hilang pada saat reaksi perengkahan katalitik minyak jarak pagar. Kandungan dan komposisi dari produk gas tersebut diperhitungkan berdasarkan hasil analisis GC
 - b. Produk cair ditentukan dari jumlah distilat yang dihasilkan dari SJO hasil perengkahan pada tahap distilasi.
3. Residu
- a. Massa SJO pada awal tahap reaksi perengkahan dikurangi dengan massa produk gas dan cair

Pengolahan data dilakukan dengan perhitungan sebagai berikut :

$$1. \text{ Konversi} = \frac{\text{massa reaktan} - \text{massa residu}}{\text{massa reaktan}} \times 100 \% \quad (3.1)$$

$$2. \text{ Yield} = \frac{\text{massa hidrokarbon } C_3 \text{ dan } C_4}{\text{massa reaktan}} \times 100 \% \quad (3.2)$$

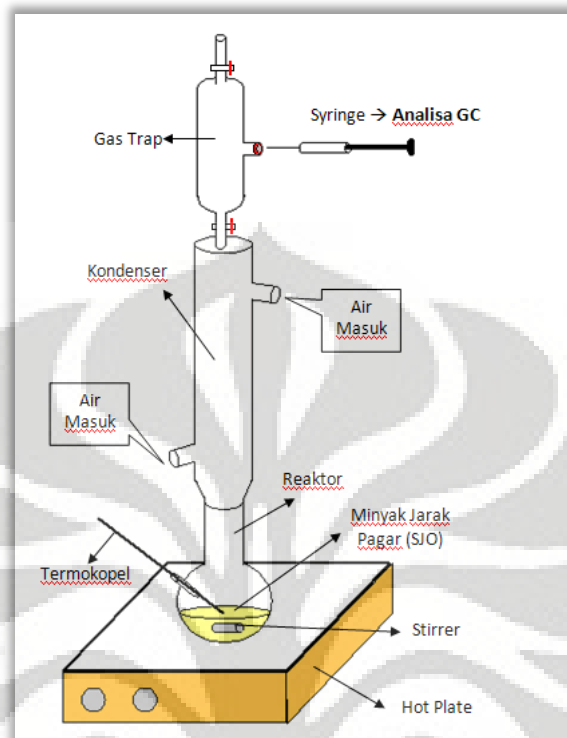
Di mana:

- massa reaktan = massa SJO pada awal tahap reaksi perengkahan
- massa residu = massa SJO pada awal tahap reaksi perengkahan dikurangi dengan massa produk gas dan cair
- massa hidrokarbon C_3 dan C_4 = massa fraksi C_3 dan C_4 dalam aliran produk gas

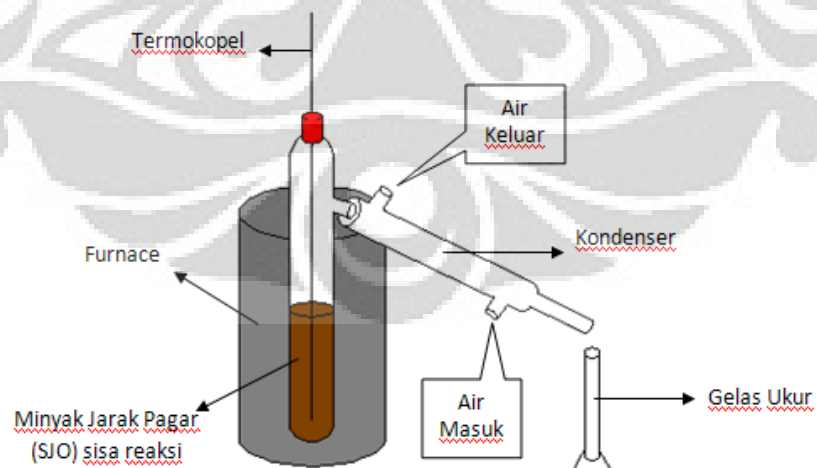
3.4 Pelaksanaan Penelitian

Keseluruhan penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Rekayasa Produk Kimia dan Bahan Alam (RPKA), Departemen Teknik Kimia Universitas Indonesia.

3.5 Skema Alat Penelitian



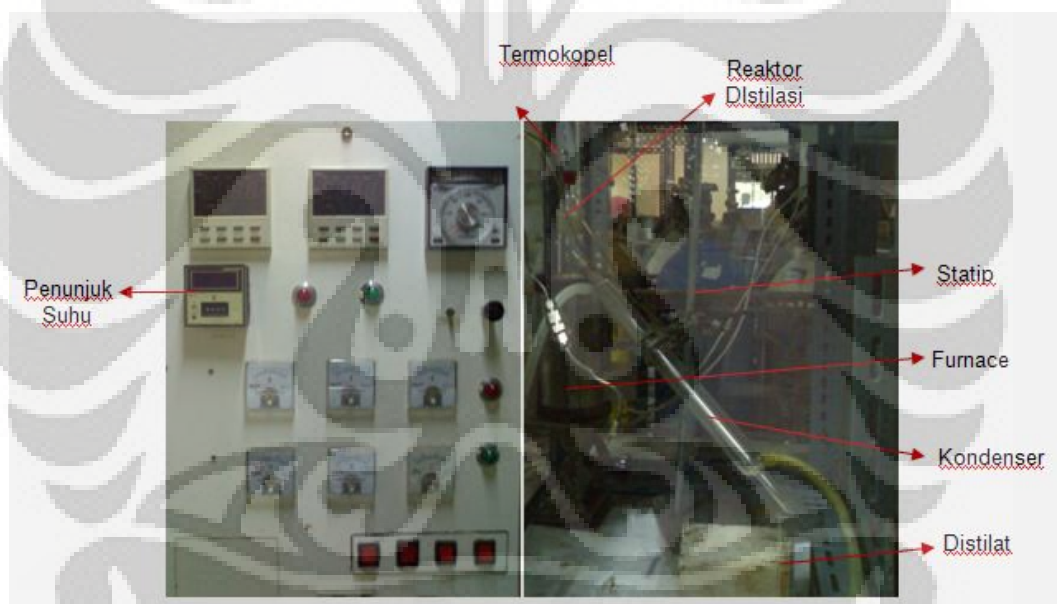
Gambar 3. 2. Skema Alat Penelitian Untuk Reaksi Perengkahan



Gambar 3. 3. Skema Alat Penelitian Untuk Distilasi



Gambar 3. 4. Rangkaian alat pada saat reaksi perengkahan



Gambar 3. 5. Rangkaian alat pada distilasi



Gambar 3. 6. Insulator Yang Digunakan Pada Saat Reaksi

BAB 4

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Analisis Percobaan

Penelitian ini bertujuan untuk mensintesis hidrokarbon fraksi C_3 dan C_4 dari minyak jarak pagar (*straight jatropha oil*, SJO) melalui reaksi perengkahan katalitik dari senyawa trigliserida yang terkandung di dalamnya. Katalis yang digunakan adalah katalis asam alumina standart (Al_2O_3) JRC-ALO-7. Secara garis besar penelitian ini terdiri dari tiga tahap yaitu *blank test*, reaksi perengkahan katalitik, dan tahap distilasi. Variasi yang digunakan adalah untuk suhu reaksi dan variasi rasio massa katalis/SJO di mana reaksi dilakukan secara tumpak dengan tekanan atmosferik pada fasa cair.

4.1.1 Tahap *Blank Test*

Tahap *blank test* ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan sifat-sifat minyak jarak pagar (SJO) di mana nantinya akan digunakan sebagai pembanding dengan sisa SJO setelah reaksi. Pertama – tama dilakukan uji distilasi terhadap SJO murni untuk mengetahui titik didih awal (*Initial Boiling Point*, *IBP*) dari SJO. *IBP* merupakan suhu pertama terbentuknya distilat yang diperoleh dengan cara menaikkan suhu distilasi dengan interval $10^\circ C$ dan ditahan untuk waktu tertentu. Melalui distilasi ini juga diketahui suhu optimum distilasi yang merupakan suhu di mana diperoleh distilat yang paling banyak yaitu $390^\circ C$. Selain itu dilakukan juga pengukuran densitas dan viskositas dari SJO murni. Tabel 4.1 menunjukkan karakteristik dari SJO yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 4. 1. Sifat Fisik dan Kimia SJO

Parameter	SJO
Densitas pada $40^\circ C$	0,9182 gram/cm ³
Viskositas pada $40^\circ C$	75,9115 cp
Titik didih pada 1 atm	$360^\circ C$

Suhu reaksi perengkahan katalitik ditentukan berdasarkan IBP SJO yang diperoleh dari proses distilasi pada tahap *blank test* yaitu sebesar 360°C sehingga variasi suhu reaksi yang akan digunakan adalah 320°C, 330°C, dan 340°C. Suhu reaksi divariasikan tidak lebih dari 360°C (IBP) karena melebihi suhu itu fraksi berat dalam SJO sudah mulai teruapkan. Diharapkan, pada suhu reaksi tersebut hanya teruapkan fraksi ringan yang sejak awal terkandung dalam SJO murni dan yang merupakan hasil perengkahan.

Pada tahap *blank test* ini juga dilakukan kalibrasi GC untuk gas yang diperkirakan akan ditemukan pada sampel, di antaranya CO₂, CH₄, C₂H₄, C₂H₆, C₃H₆, C₃H₈, i-C₄, dan n-C₄. Dengan melakukan kalibrasi kita dapat mengetahui waktu tinggal untuk masing-masing zat pada kolom yang digunakan sehingga kandungan sampel dapat diketahui dengan mengacu pada data kalibrasi tersebut. Di samping itu, kalibrasi ini juga menghasilkan persamaan untuk masing – masing zat yang nantinya akan digunakan untuk mengkonversi hasil dari GC yang berupa luas area menjadi volume.

Efektivitas penggunaan katalis dalam reaksi perengkahan diketahui dengan cara melakukan reaksi tanpa menggunakan katalis. Dengan ini, kita dapat mengetahui apakah C₃ dan C₄ akan terbentuk jika SJO direaksikan tanpa katalis. Pengujian dilakukan untuk setiap suhu reaksi dengan waktu reaksi ±15 menit. Dari pengujian yang dilakukan ternyata tidak ditemukan adanya C₃ ataupun C₄ pada produk gas yang terbentuk untuk semua variasi suhu yang ada.

4.1.2 Tahap reaksi perengkahan katalitik

Setelah kita memperoleh data-data awal melalui *blank test* maka selanjutnya dilakukan reaksi perengkahan katalitik. Pertama-tama katalis alumina (Al₂O₃) JRC-ALO-7 dipreparasi dengan mengkalsinasi katalis tersebut pada suhu 300°C selama 1 jam. Diharapkan dengan proses kalsinasi ini katalis akan teraktivasi dengan terbentuknya inti asam Bronsted. Selain untuk membentuk inti aktif Bronsted, kalsinasi juga bertujuan untuk memperluas luas permukaan katalis seiring dengan menguapnya air yang mengisi pori – pori katalis tersebut. Katalis yang telah dikalsinasi dihaluskan untuk memperkecil butirannya kemudian

disimpan di dalam desikator untuk menghindari untuk mencegah masuknya kembali uap air ke dalam pori – pori katalis.

Reaktan SJO yang digunakan sebanyak 20 ml dan reaksi dilangsungkan selama 60 menit pada suhu reaksi yang telah ditentukan. Pada tahap ini, tabung kondensor diarahkan secara vertikal agar terjadi *full-reflux* terhadap produk yang dihasilkan sehingga yang keluar dari atas tabung kondensor saat pengambilan sampel adalah murni produk gas. Di samping itu diharapkan produk yang sudah terengkah dapat direngkah lagi saat di *reflux*.

Pada saat memanaskan reaktan, sampel gas diambil sejak suhu mencapai 180°C hingga mencapai suhu reaksi dengan interval kenaikan suhu 20°C. Selanjutnya, suhu reaksi ditahan selama 1 jam dan sampel diambil setiap 5 menit. Pengambilan sampel pada variasi kenaikan suhu hanya dilakukan pada saat reaksi dengan suhu reaksi 320°C dengan menganggap bahwa profil perengkahan terhadap kenaikan suhu untuk masing-masing rasio massa katalis/SJO telah terwakili dengan data yang ada.

Sampel gas yang diperoleh kemudian dianalisis dengan *Gas Chromatography (GC)* sehingga diketahui kandungan dan komposisi senyawa dalam sampel gas. Massa yang hilang pada tahap reaksi perengkahan katalitik ini merupakan produk gas (hidrokarbon ringan fraksi C₁ – C₄) yang terbentuk sebagai hasil perengkahan SJO.

4.1.3 Tahap distilasi

Berdasarkan penelitian sebelumnya (Iswara, 2006) diketahui bahwa perengkahan katalitik akan memotong hidrokarbon rantai panjang pada struktur trigliserida SJO menjadi rantai hidrokarbon yang lebih pendek. Hal ini berarti, selain dihasilkan hidrokarbon ringan sebagai produk gas, dihasilkan pula hidrokarbon rantai sedang (C₅ atau lebih). Oleh karena itu, perlu pula dilakukan analisis terhadap produk cair hasil perengkahan minyak kelapa sawit. Analisa dilakukan dengan cara mendistilasi SJO hasil perengkahan di mana distilat yang diperoleh akan dianalisa FTIR untuk kemudian hasilnya dibandingkan dengan distilat yang diperoleh pada saat blank test. Distilasi dilakukan hingga mencapai suhu optimum distilasi yang diperoleh pada tahap *blank test* yaitu 390°C.

4.2 Analisa Mekanisme Perengkahan Katalitik SJO

Dari hasil analisa GC dari sampel yang terbentuk pada reaksi perengkahan katalitik diperoleh hasil yang mayoritas terdiri dari C₄ walaupun pada beberapa titik juga ditemui adanya C₃. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi perengkahan yang terjadi selektif untuk menghasilkan C₄. Dengan berdasarkan pada hasil tersebut, maka dapat dianalisa mekanisme perengkahan yang terjadi sehingga dapat dihasilkan produk yang mayoritas berupa C₄.

Pada umumnya komposisi dari asam lemak yang menyusun SJO sebagian besar terdiri dari asam oleat (18:1) sebesar 44,2% dan asam linoleat (18:2) sebesar 34,9% dengan struktur kimia sebagai berikut:

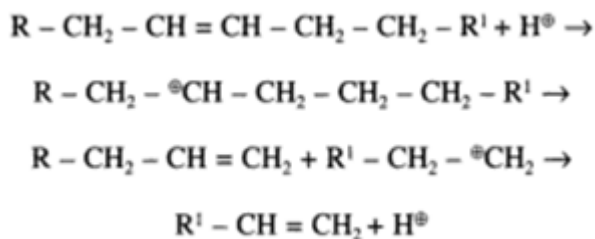


Gambar 4. 1. Struktur Asam Oleat (Wikipedia, 2008)



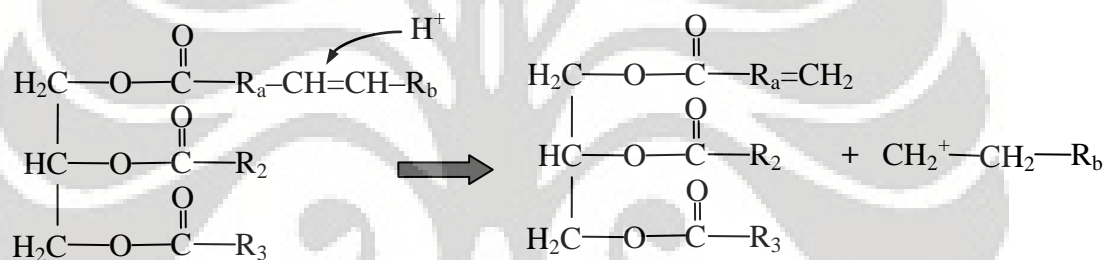
Gambar 4. 2. Struktur Asam Linoleat (Wikipedia, 2008)

Perengkahan akan cenderung terjadi pada ikatan rangkap (olefin) terlebih dahulu. Hal ini disebabkan karena ikatan rangkap memiliki kestabilan yang kurang jika dibandingkan dengan ikatan jenuh. Produk dari perengkahan suatu olefin adalah dua buah olefin dengan rantai yang lebih pendek dengan mekanisme sebagai berikut:



Gambar 4. 3. Mekanisme Reaksi Perengkahan Katalitik Olefin

Berdasarkan mekanisme tersebut maka dapat diprediksikan mekanisme perengkahan yang terjadi pada minyak jarak pagar. Pada tahap awal reaksi terjadi pemotongan ikatan rangkap pada trigliserida secara langsung akibat adanya H^+ yang diberikan oleh katalis.



Gambar 4. 4. Mekanisme Perengkahan Katalitik Ikatan Rangkap Dari Trigliserida

Karbokation yang terbentuk merupakan karbokation primer di mana yang kestabilannya rendah. Untuk menstabilkan diri, karbokation akan beresonansi dari ikatan primer menjadi ikatan sekunder. Kemudian, karbokation akan melepaskan kembali H^+ dan menjadi olefin olefin sekunder baru dengan ikatan yang lebih pendek.



Gambar 4. 5. Stabilisasi Karbokation Hasil Perengkahan Katalitik Ikatan Rangkap dari Trigliserida

Proses ini akan berlangsung berulang-ulang sampai olefin tersebut cukup ringan untuk menguap sebelum terengkah lebih lanjut. Berdasarkan mekanisme

tersebut, maka dapat dianalisa beberapa kemungkinan produk pemotongan yang diperoleh dari perengkahan katalitik SJO.

Tabel 4. 2. Prediksi Produk Perengkahan SJO

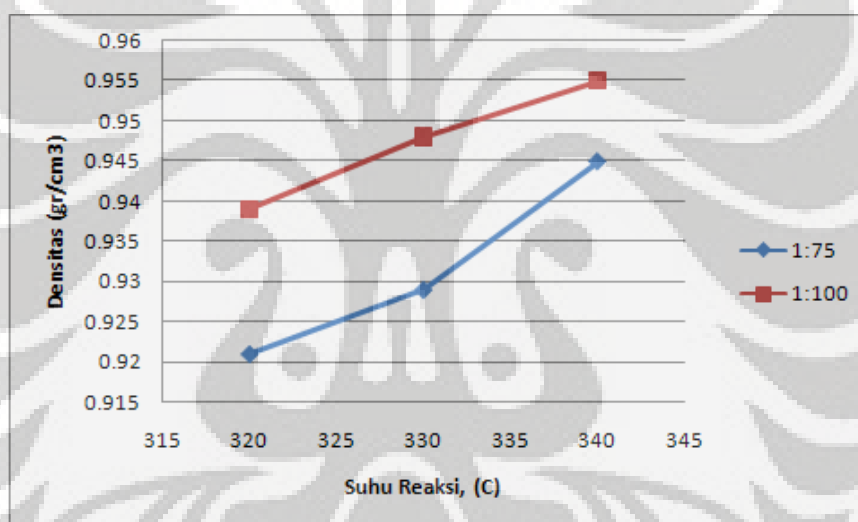
No	Reaktan awal	Hasil Perengkahan 1	Hasil Perengkahan 2
1	Asam Oleat	C-C=C-C-C-C-C-C-C	C=C
	$\text{---O---}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C---C}_8\text{=C}_9$		C-C=C-C-C-C-C
2.	Asam Linoleat	C-C=C-C-C-C	C=C
	$\text{---O---}\overset{\text{O}}{\parallel}\text{C---C}_8\text{=C}_3\text{=C}_6$		C-C=C-C
		C-C=C-C-C-C-C-C-C	C-C=C-C-C-C

Selain perengkahan pada ikatan rangkap, perengkahan pada ikatan jenuh juga dapat terjadi sehingga akan menghasilkan lebih banyak kemungkinan produk perengkahan. Pada saat dilakukan reaksi perengkahan dihasilkan kabut putih yang diperkirakan sebagai hidrokarbon berat (C_5+) yang menguap. Oleh karena itu, perengkahan untuk menghasilkan produk C_3 dan C_4 dari minyak jarak merupakan sesuatu yang sangat mungkin untuk dilakukan.

Perengkahan SJO dengan menggunakan katalis alumina pada penelitian ini menghasilkan produk yang mayoritas berupa C_4 , C_3 dan beberapa senyawa lain juga diperoleh namun dalam jumlah yang sedikit serta kemunculannya tidak kontinu sehingga pembahasan hasil penelitian ini hanya terbatas terhadap C_4 . Hal ini menunjukkan bahwa alumina memiliki kekuatan asam yang tinggi. Kekuatan asam yang tinggi disertai energi yang cukup memungkinkan untuk terjadi perengkahan lanjut sehingga menghasilkan C_4 . Untuk reaksi ini, alumina dapat dikatakan cukup selektif terhadap C_4 yang ditandai dengan jumlah C_4 yang cukup tinggi.

4.3 Analisis Densitas Produk Cair

Reaksi perengkahan katalitik SJO akan menghasilkan hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek berupa hidrokarbon ringan $C_1 - C_4$ yang merupakan produk gas dan hidrokarbon C_{5+} yang merupakan produk cair. Semakin pendek rantai suatu senyawa maka densitasnya akan semakin berkurang. Akibatnya, reaksi perengkahan akan berpengaruh terhadap densitas dari fluida yang digunakan. Dengan menganalisa perubahan densitas SJO sisa reaksi terhadap densitas SJO awal, kita dapat menganalisa pengaruh reaksi perengkahan terhadap densitasnya di mana densitas SJO awal diperoleh pada saat *blank test* yaitu $0,9182 \text{ gr/cm}^3$.



Gambar 4. 6. Pengaruh suhu reaksi dan rasio massa katalis/SJO terhadap densitas

Dari Gambar 4.6 terlihat bahwa reaksi perengkahan akan meningkatkan densitas dari SJO. Hal ini menandakan bahwa perengkahan mengakibatkan terbentuk hidrokarbon rantai pendek yang kemudian meninggalkan SJO dalam bentuk gas dan menyisakan hidrokarbon dengan rantai yang lebih panjang dibanding SJO awal yang menyebabkan meningkatnya densitas dari SJO tersebut. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan Rohmah dkk. di mana densitas SJO pada saat reaksi perengkahan termal dengan suhu 375°C akan meningkat. Hal ini diakibatkan karena terjadinya reaksi propagasi antara radikal bebas rantai

panjang hidrokarbon tak jenuh yang menyerang senyawa hidrokarbon jenuh membentuk senyawa hidrokarbon C₂₉:1 (Rohmah, 2008). Pada penelitian ini di mana perengkahan dilakukan secara katalitik sehingga energi yang dibutuhkan untuk terjadinya reaksi tersebut akan lebih rendah yang mengakibatkan peluang untuk terjadinya reaksi propagasi tersebut menjadi lebih besar.

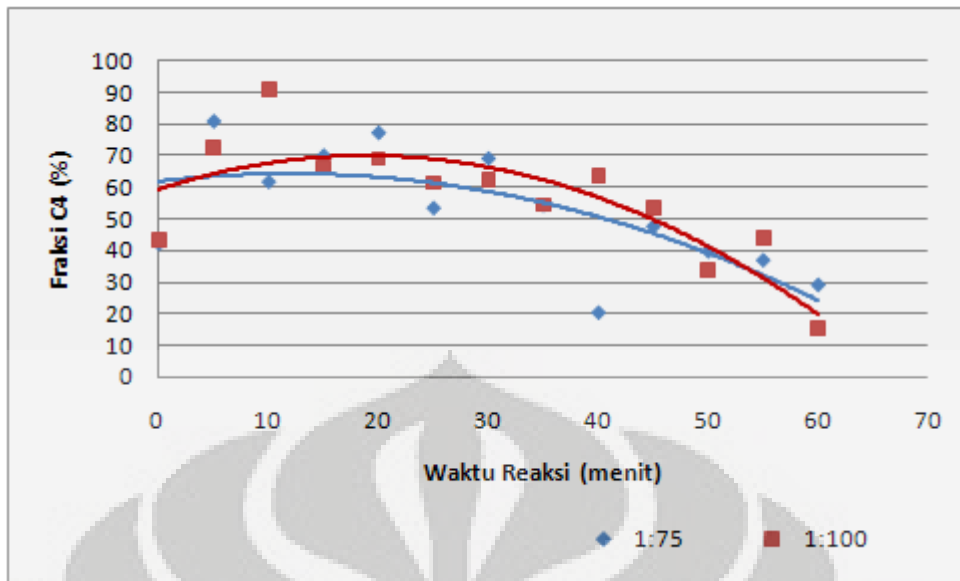
Gambar 4.6 juga menunjukkan pengaruh suhu terhadap perubahan densitas. Terlihat bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka densitas produk cair yang dihasilkan akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan karena energi yang diberikan akan semakin tinggi seiring dengan naiknya suhu reaksi sehingga reaksi propagasi akan semakin banyak terjadi dan mengakibatkan densitas SJO akan meningkat seiring dengan kenaikan suhu. Rasio massa katalis/SJO juga berpengaruh terhadap densitas SJO sisa reaksi di mana densitas SJO sisa reaksi dengan rasio massa katalis/SJO 1:75 memiliki densitas yang lebih rendah jika dibandingkan dengan densitas SJO sisa reaksi dengan rasio massa katalis/SJO 1:100. Hal ini akan dibahas lebih lanjut di bagian 4.6.

4.4 Fraksi Komponen C₄

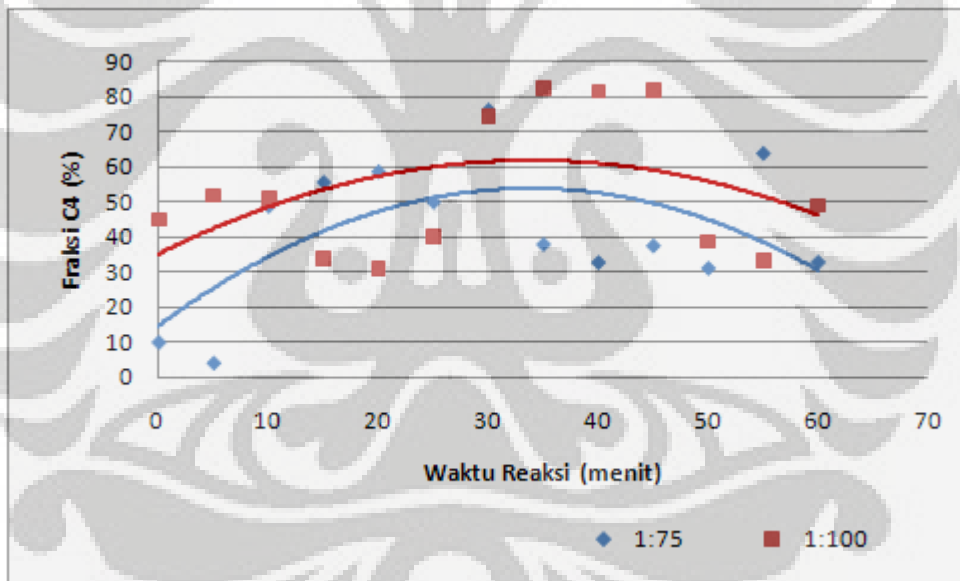
Pada penelitian ini mayoritas produk yang dihasilkan adalah C₄ walaupun ditemukan juga C₃ dan senyawa lain yang kemunculannya tidak kontinu dan dalam jumlah yang relative kecil terutama jika dibandingkan dengan C₄. Fraksi menyatakan perbandingan volume hidrokarbon C₄ yang terbentuk pada saat reaksi perengkahan dengan volume produk gas yang dihasilkan berdasarkan analisa dengan menggunakan GC.

4.4.1 Pengaruh Rasio Massa SJO/Katalis Terhadap Fraksi C₄

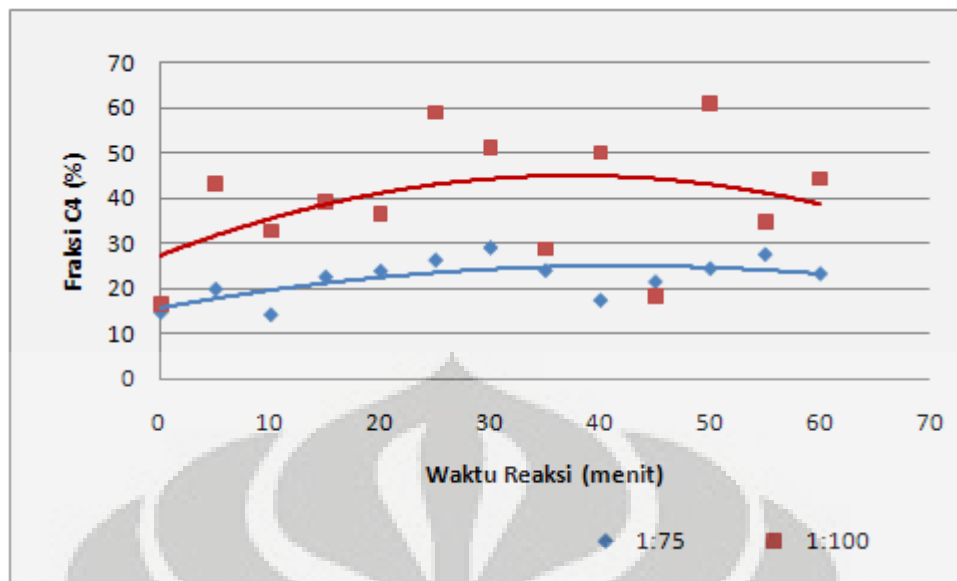
Untuk mengetahui pengaruh rasio massa katalis/SJO maka pada penelitian ini digunakan dua variasi rasio massa katalis/SJO yaitu 1:75 dan 1:100. Sampel gas yang diambil pada reaksi dengan kedua perbandingan suhu tersebut kemudian dianalisa dengan menggunakan GC dan dihitung fraksi-nya sehingga dapat diketahui pengaruh rasio massa katalis/SJO.



(a)



(b)



(c)

Gambar 4. 7. Pengaruh Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Fraksi C₄ untuk Suhu Reaksi (a) 320°C, (b) 330°C, dan (c) 340°C

Dari gambar 4.7 terlihat bahwa fraksi C₄ yang dihasilkan pada variasi rasio massa katalis/SJO = 1:100 lebih tinggi jika dibandingkan dengan massa katalis/SJO = 1:75. Padahal, makin kecil rasio massa SJO/katalis maka *acid amount* dalam reaktan akan semakin besar, sehingga:

- semakin banyak permukaan yang dapat mengadsorpsi reaktan,
- semakin banyak reaktan yang terengkah
- hidrokarbon produk perengkahan akan teradsorp juga pada permukaan katalis
- hidrokarbon produk perengkahan dapat terengkah lagi menjadi hidrokarbon yang lebih pendek

Inti asam yang semakin banyak dapat mengakibatkan perengkahan yang terjadi menjadi tidak terkontrol di mana katalis tidak lagi memotong pada ikatan rangkap tetapi juga pada ikatan jenuh dengan produk pemotongan yang lebih kecil dari C₄. Akibatnya reaksi menjadi tidak spesifik untuk menghasilkan C₄ sehingga fraksi dari C₄ akan menurun.

Akan tetapi kenaikan rasio katalis/SJO juga akan meningkatkan pembentukan *coke* yang ditunjukkan dengan berubahnya warna SJO menjadi hitam (Bevy, 2006). Hal ini didukung dengan ikatan rangkap pada SJO yang relatif banyak di mana ikatan rangkap tersebut akan lebih mudah terlibat dalam

Universitas Indonesia

transfer hidrogen dan reaksi siklisasi sehingga *coke* lebih mudah terbentuk. *Coke* akan menutupi inti aktif dari katalis alumina sehingga meningkatkan tahanan difusi reaktan ke dalam katalis yang menyebabkan aktivitas katalis berkurang dan menurunkan yield dari C_4 . Akibatnya, reaksi dengan massa katalis/SJO = 1:75 akan memberikan fraksi C_4 yang lebih kecil jika dibandingkan dengan reaksi pada rasio massa katalis/SJO 1:100.



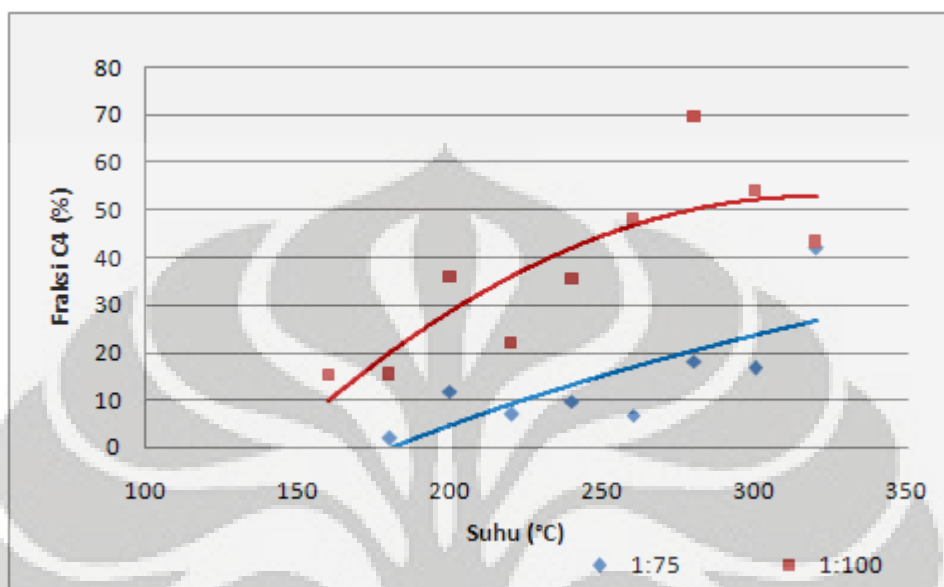
Gambar 4. 8. Perubahan warna SJO (a) sebelum reaksi dan (b) sesudah reaksi

Pada awal reaksi, ketika coking belum terjadi, fraksi C_4 akan lebih banyak terdapat pada rasio massa katalis/SJO = 1:75. Akibat adanya coking maka aktivitas katalis akan menurun yang menyebabkan fraksi C_4 yang dihasilkan juga menurun bahkan hingga kurang dari fraksi yang diperoleh pada reaksi dengan rasio massa katalis 1:75. Hal ini ditunjukkan dengan perpotongan antara grafik fraksi C_4 untuk rasio massa katalis/SJO = 1:75 dengan 1:100. Seiring dengan meningkatnya suhu reaksi maka coking akan semakin cepat terjadi sehingga perpotongan yang terjadi tidak lagi pada saat reaksi ditahan pada suhu reaksinya melainkan saat dilakukan peningkatan suhu dari 150°C (suhu dicampurnya katalis ke dalam SJO) hingga mencapai suhu reaksinya.

4.4.2 Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Fraksi C_4

Untuk mengetahui pengaruh suhu maka dilakukan pengambilan sampel gas setiap kenaikan suhu 20°C hingga mencapai suhu reaksi (320°C). Sampel

tersebut kemudian dianalisa dengan menggunakan GC dan dihitung fraksi-nya sehingga dapat diketahui trend perubahan fraksi C₄ terhadap perubahan suhu.



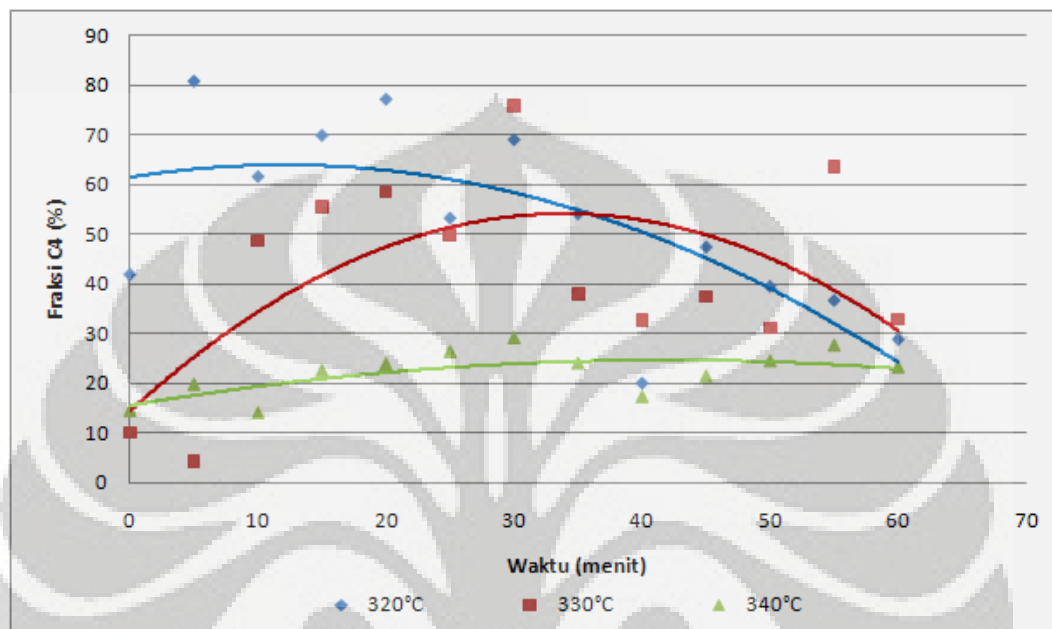
Gambar 4. 9. Pengaruh Suhu Reaksi Terhadap Fraksi C₄

Pada gambar di atas dapat dilihat bahwa fraksi C₄ akan meningkat seiring dengan semakin besar suhu reaksi. Suhu reaksi menunjukkan seberapa besar energy yang diberikan pada reaksi perengkahan ini di mana pada suhu reaksi yang lebih tinggi maka akan diberikan energi yang lebih besar. Reaksi perengkahan merupakan reaksi yang endotermis sehingga kenaikan suhu akan meningkatkan jumlah produk yang dihasilkan karena rantai hidrokarbon panjang pada struktur trigliserida SJO yang dapat direngkah akan lebih banyak. Hal ini sesuai dengan prinsip kesetimbangan (Le Chatelier) di mana pada reaksi yang endotermis kenaikan suhu reaksi akan menggeser kesetimbangan ke arah kanan (produk).

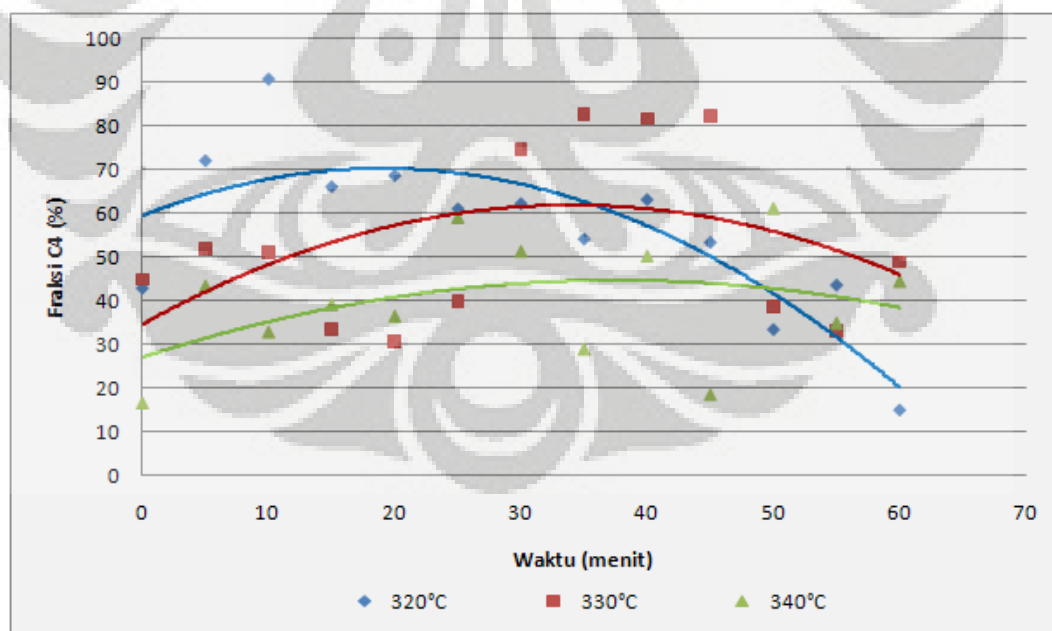
4.4.3 Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Fraksi C₄

Di samping suhu reaksi dan rasio massa katalis/SJO, waktu reaksi juga memegang peranan yang penting di dalam suatu reaksi. Untuk mengetahui pengaruh waktu reaksi terhadap berbagai suhu reaksi dan rasio massa katalis/SJO, maka dilakukan pengambilan sampel gas setiap 5 menit sementara suhu dijaga

konstan pada suhu reaksinya. Sampel tersebut kemudian dianalisa dengan menggunakan GC dan dihitung fraksi-nya sehingga dapat diketahui trend perubahan fraksi C_4 yang dihasilkan terhadap perubahan suhu untuk berbagai rasio massa katalis/SJO yang digambarkan dalam grafik berikut:



(a)



(b)

Gambar 4. 10. Pengaruh Waktu Reaksi Terhadap Fraksi C_4 Untuk Rasio Massa SJO/Katalis

(a) 1:75 dan (b) 1:100

Gambar 4.10 menunjukkan bahwa pada awalnya fraksi C_4 yang dihasilkan akan meningkat seiring dengan bertambahnya waktu reaksi. Hal ini berkaitan dengan mekanisme reaksi perengkahan dari minyak jarak pagar itu sendiri yang telah dijelaskan pada bagian 4.2. Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya, pada awal reaksi, katalis akan cenderung untuk merengkah ikatan yang lebih tidak stabil terlebih dahulu (ikatan rangkap). Hasil dari reaksi perengkahan ini ada yang langsung menghasilkan C_4 , namun ada juga yang harus mengalami perengkahan lanjutan terlebih dahulu (*consecutive reaction*). Hal ini lah yang menyebabkan fraksi C_4 akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya waktu reaksi karena semakin banyaknya reaksi lanjutan yang dapat terjadi.

Perengkahan pada ikatan rangkap akan terjadi terus-menerus hingga diperoleh produk berupa hidrokarbon dengan rantai pendek. Hidrokarbon hasil perengkahan ini jika telah cukup pendek rantainya akan cenderung untuk menguap ke udara sehingga yang tersisa adalah hidrokarbon dengan ikatan jenuh yang lebih sulit untuk dipotong. Perengkahan untuk ikatan jenuh mungkin untuk dilakukan namun akan membutuhkan energi yang lebih besar dibandingkan pada ikatan rangkap. Sama halnya dengan perengkahan ikatan rangkap, perengkahan ikatan jenuh ini ada yang langsung menghasilkan C_4 ataupun harus melalui perengkahan lanjutan. Produk C_4 dari perengkahan ikatan jenuh ini akan menimbulkan peningkatan terhadap fraksi C_4 .

Dari gambar 4.6 dapat dilihat pula bahwa peningkatan pada fraksi C_4 setelah mencapai titik optimumnya akan berubah menjadi penurunan. Hal ini disebabkan karena reaksi lanjutan yang terjadi secara terus-menerus yang mengakibatkan perengkahan terus berlanjut bahkan setelah diperoleh C_4 sehingga akan menurunkan jumlah dari C_4 itu sendiri. Akibat samping dari perengkahan adalah terbentuknya hidrokarbon berat yang ditunjukkan dengan meningkatnya densitas SJO sisa reaksi sebagaimana dijelaskan pada bagian 4.3. Pembentukan hidrokarbon berat ini akan meningkat seiring dengan meningkatnya waktu reaksi yang ditunjukkan dengan semakin kentalnya SJO di dalam reaktor. Akibatnya reaksi akan berlangsung lebih kompleks karena perengkahan untuk menghasilkan C_4 akan membutuhkan energi yang lebih besar dan tahap yang lebih banyak.

Waktu reaksi menunjukkan waktu tinggal reaktan pada permukaan katalis juga dapat dianalogikan dengan rasio massa SJO/katalis. Sehingga, seperti yang telah dijelaskan pada bagian 4.4.1, semakin lama waktu tinggal reaktan pada permukaan katalis maka peluang untuk terjadi *coking* akan semakin besar di mana fenomena *coking* ini akan menurunkan fraksi dari C_4 yang dihasilkan.

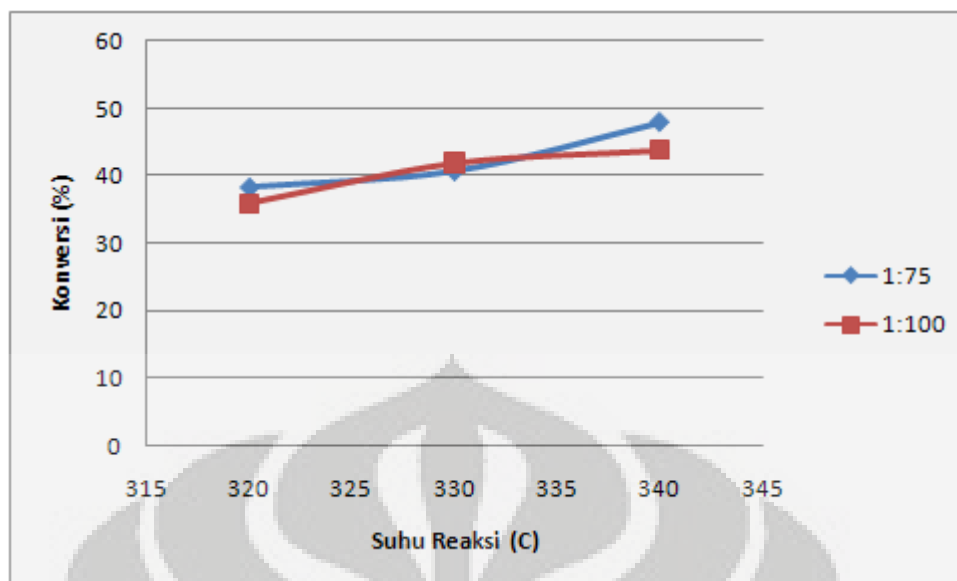
Pada gambar 4.6 dapat dilihat pula bahwa peningkatan fraksi yang dihasilkan dari reaksi pada suhu 320°C lebih besar dibandingkan pada suhu 330°C dan juga 340°C . Hal ini dikarenakan reaksi perengkahan merupakan reaksi endotermis, sehingga makin tinggi suhu reaksi maka akan makin banyak energi reaksi yang tersedia. Energi yang besar tersebut akan semakin memungkinkan untuk terjadinya reaksi lanjutan bahkan setelah diperoleh C_4 . Produk dari reaksi lanjutan ini adalah hidrokarbon dengan rantai yang lebih pendek dari C_4 sehingga akan menurunkan fraksi dari C_4 .

Dengan mengamati pengaruh rasio massa katalis/SJO, suhu, dan waktu reaksi terhadap fraksi C_4 , maka dapat disimpulkan bahwa fraksi C_4 terbaik diperoleh pada suhu reaksi 320°C dan massa katalis/SJO = 1:100 setelah reaksi berlangsung selama ± 20 menit dengan fraksi mencapai 70% volume.

4.5 Pengaruh Suhu Reaksi dan Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Konversi

Pada penelitian ini konversi didefinisikan sebagai perbandingan massa produk yang dihasilkan baik berupa gas maupun cairan dengan massa reaktan awal. Produk gas merupakan SJO yang hilang sepanjang proses perengkahan sedangkan produk cair merupakan distilat yang diperoleh pada proses distilasi.

Berbeda dengan fraksi C_4 yang dapat dihitung untuk setiap pengambilan sampel, perhitungan konversi dilakukan secara keseluruhan yaitu pada akhir reaksi. Sehingga dari konversi ini kita hanya dapat melihat pengaruh suhu reaksi dan rasio massa katalis/SJO saja.



Gambar 4. 11. Pengaruh Waktu Reaksi dan Untuk Rasio Massa SJO/Katalis Terhadap Konversi

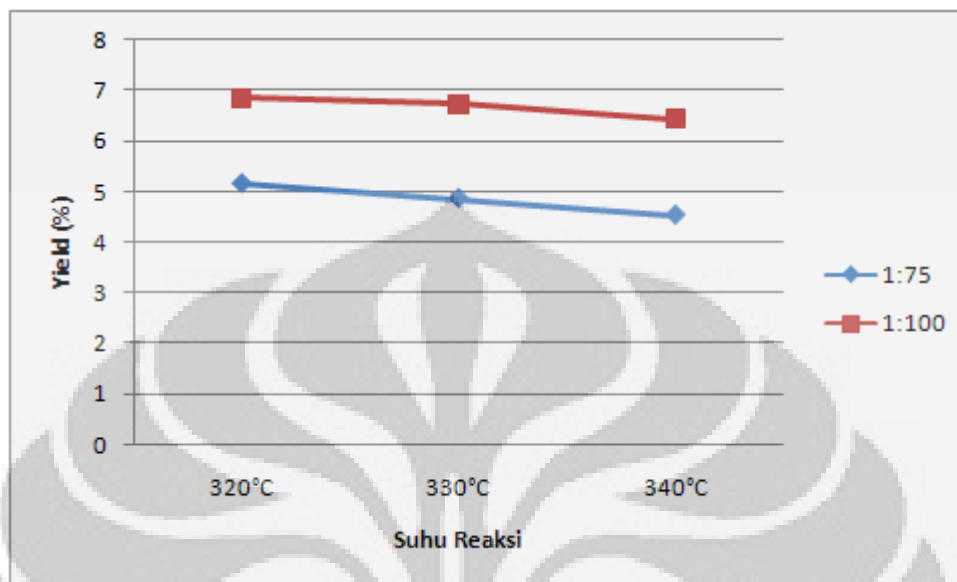
Dari Gambar 4.11 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka konversi akan meningkat. Hal ini disebabkan karena semakin tinggi suhu reaksi berarti energi yang diberikan ke dalam proses reaksi akan semakin banyak sehingga energi yang tersedia untuk merengkah reaktan juga akan semakin banyak sebagaimana telah dijelaskan pada bagian 4.4.2.

Di samping pengaruh suhu reaksi, kita juga dapat mengetahui pengaruh rasio massa katalis/SJO di mana rasio massa katalis/SJO 1:75 menghasilkan konversi yang lebih besar jika dibandingkan dengan 1:100. Hal ini disebabkan karena konsentrasi katalis yang semakin tinggi berarti terdapat inti aktif yang lebih banyak sehingga perengkahan yang terjadi juga lebih aktif dan mengkonversi lebih banyak reaktan.

4.6 Pengaruh Suhu Reaksi dan Rasio Massa Katalis/SJO Terhadap Yield C_4

Yield merupakan perbandingan antara produk C_4 yang dihasilkan dengan reaktan. Pada penelitian ini, produk C_4 diperoleh dengan mengalikan fraksi C_4 rata-rata sepanjang reaksi dengan massa produk gas yang terbentuk kemudian dibagi dengan massa SJO awal untuk diperoleh yield keseluruhan dari reaksi.

Demikian halnya dengan konversi, yield di sini merupakan yield keseluruhan reaksi yang dihitung pada akhir reaksi.



Gambar 4. 12. Pengaruh Waktu Reaksi dan Untuk Rasio Massa SJO/Katalis Terhadap Yield C₄

Dari Gambar 4.12 dapat dilihat bahwa semakin tinggi suhu reaksi maka yield C₄ akan cenderung menurun. Hal ini berkaitan fenomena *coking* yang akan menurunkan aktivitas dari katalis sehingga yield C₄ yang dihasilkan akan menurun pula. Energi yang tersedia akan meningkat seiring dengan meningkatnya suhu reaksi sehingga fenomena *coking* akan lebih mudah untuk terjadi yang ditunjukkan dengan menurunnya konversi seiring dengan kenaikan suhu.

Di samping pengaruh suhu reaksi, pada Gambar 4.12 juga terlihat pengaruh rasio massa katalis/SJO di mana rasio massa katalis/SJO = 1:100 akan cenderung memberikan yield yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan konversi reaksi pada rasio massa katalis/SJO=1:75. Hal ini disebabkan karena terbentuknya *coke* dengan semakin tingginya konsentrasi katalis (rasio massa katalis/SJO semakin kecil) yang ditunjukkan dengan SJO yang menjadi hitam sebagai akibat dari reaksi konsekutif dari produk utama yaitu C₄ (Bevy, 2006). Penjelasan lebih lanjut mengenai pengaruh rasio massa katalis/SJO dan fenomena *coking* yang terbentuk dapat dilihat pada bagian 4.4.1.

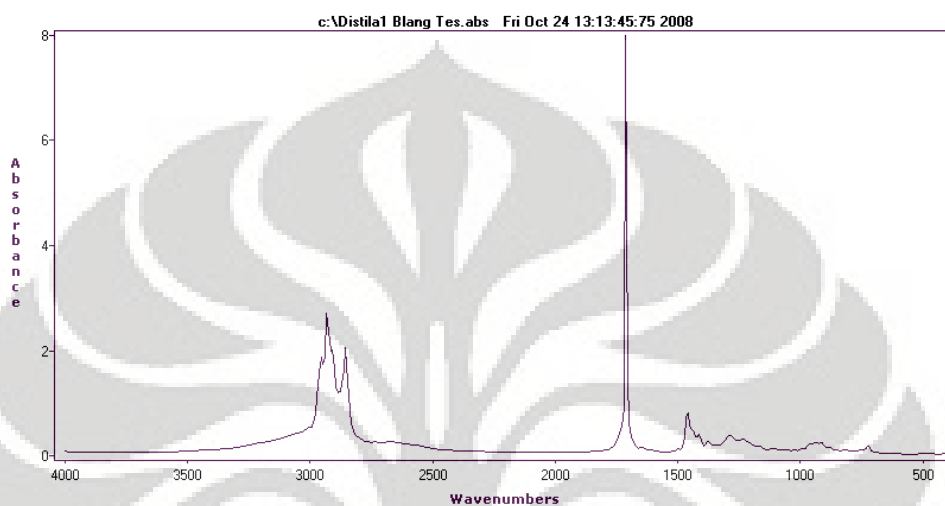
Dari analisa yield tersebut dapat disimpulkan bahwa hasil optimum diperoleh pada suhu reaksi 320°C dengan rasio massa katalis 1:75 dengan yield sebesar 6,8%. Pada penelitian yang dilakukan oleh Teguh dkk di mana perengkahan SJO dilakukan dengan menggunakan katalis zeolit diperoleh yield optimum yang lebih besar jika dibandingkan dengan penelitian ini. Hal ini berkaitan dengan jenis katalis yang digunakan. Zeolit memiliki distribusi keasaman yang homogen sementara keasaman pada amorf tidak merata sehingga pada bagian dengan keasaman tinggi akan menyebabkan terjadi reaksi konsekutif sementara pada bagian dengan keasaman rendah tidak terjadi reaksi. Perbedaan distribusi keasaman ini menyebabkan *coke* yang terbentuk dari reaksi dengan menggunakan katalis alumina akan lebih banyak jika dibandingkan dengan zeolit (Nasution, 2008). Akibatnya, yield yang dihasilkan pada reaksi dengan menggunakan katalis alumina lebih rendah jika dibandingkan dengan katalis zeolit

Sementara itu, penelitian yang dilakukan Hidayat dkk di mana perengkahan dilakukan pada CPO dengan menggunakan katalis alumina memperoleh hasil optimum diperoleh pada suhu reaksi 370°C dan rasio massa katalis/CPO = 1:125 dengan yield C₄ sebesar 5,78%. Pada penelitian ini yield yang lebih tinggi dapat diperoleh dengan suhu reaksi yang lebih rendah yaitu sebesar 6,84% pada suhu reaksi 320°C. Hal ini berkaitan dengan bahan baku yang digunakan di mana SJO memiliki lebih banyak ikatan rangkap sehingga perengkahan akan lebih mudah terjadi sehingga dibutuhkan energi yang lebih sedikit (suhu yang lebih rendah). Namun, jumlah ikatan rangkap yang banyak ini juga meningkatkan kecenderungan terjadinya *coke* yang ditunjukkan dengan menurunnya yield C₄ seiring dengan kenaikan suhu sementara pada perengkahan dengan menggunakan CPO, yield C₄ akan meningkat seiring dengan naiknya suhu reaksi.

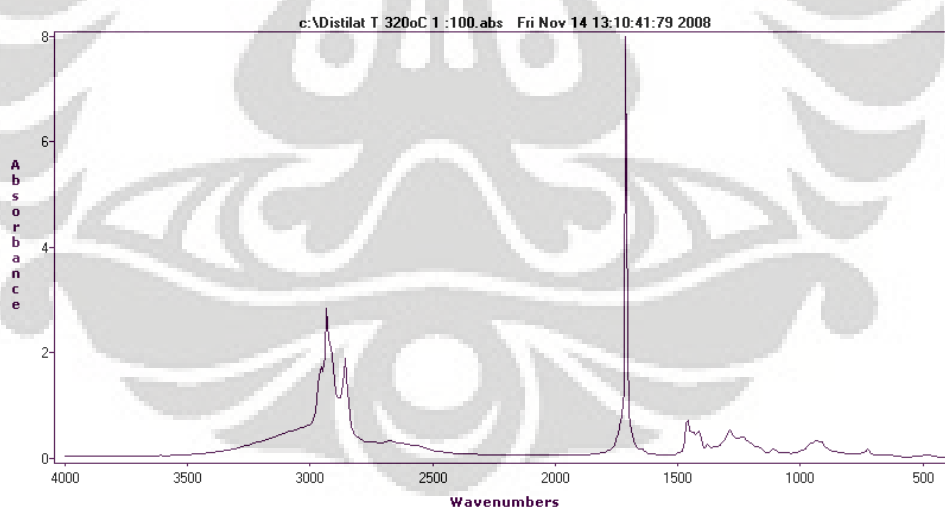
4.7 Analisis FTIR

Untuk memastikan telah terjadi perubahan struktur molekul trigliserida dalam SJO maka dilakukan analisa dengan menggunakan FTIR. FTIR bertujuan untuk mengetahui gugus-gugus yang terdapat dalam sampel sehingga kita dapat

membandingkan perubahan yang terjadi antara distilat hasil reaksi perengkahan dengan distilat blank test (SJO). Perbandingan hasil FTIR hanya dilakukan pada reaksi yang memberikan hasil optimum di mana pada penelitian ini hasil optimum diperoleh untuk reaksi yang berlangsung pada suhu reaksi 320°C dan massa katalis/SJO = 1:100.



(a)



(b)

Gambar 4. 13. Spektra FTIR dari (a) Distilat SJO Murni dan (b) Distilat Sisa Reaksi Pada $T = 320^{\circ}\text{C}$ Dengan Rasio Massa Katalis/SJO = 1:100

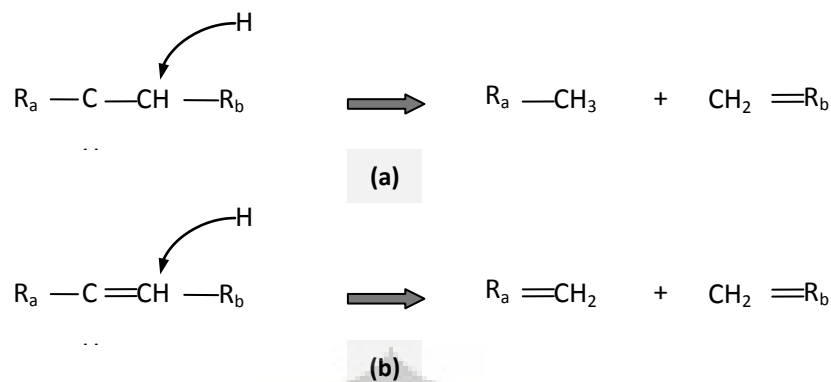
Perbandingan spektrum FTIR sebelum dan setelah reaksi menunjukkan terjadinya reaksi perengkahan. Hal ini terlihat dari perubahan intensitas absorbansi dari beberapa ikatan antar atom yang dijelaskan pada tabel 4.3

Tabel 4. 3. Perbandingan Analisis FTIR Distilat Blank Test Dengan Distilat Sisa Reaksi

Jenis Ikatan	Panjang Gelombang	Absorbansi	
		SJO	Produk Cair
-CH ₃	2923.55 cm ⁻¹	2.32	2.25
=CH ₂	2854.13 cm ⁻¹	2.06	1.88
C=O	1712.47 cm ⁻¹	7.98	7.98
C=C	1697,05 cm ⁻¹	0.61	0.84
O-C=O (ester)	1164,79 cm ⁻¹	0,18	0,16
(CH) _n	725,1 cm ⁻¹	0.19	0.17

Besarnya absorbansi terhadap suatu gugus merefleksikan banyaknya kandungan gugus tersebut dalam sampel. Berdasarkan perubahan absorbansi tersebut, maka dapat diindikasikan terjadinya reaksi perengkahan selama proses reaksi. Tabel 4.3 menunjukkan perbandingan absorbansi tiap ikatan antar atom yang terdapat pada SJO dan produk cair. Jenis ikatan yang dianalisa mempunyai pengaruh yang sangat besar dalam identifikasi reaksi perengkahan. Perengkahan terutama ditunjukkan dengan perbedaan antara absorbansi SJO dengan produk cairi adalah penurunan gugus ester (O-C=O) yang menunjukkan terjadi pelepasan gugus ester dari senyawa trigliserida.

Apabila suatu parafin direngkah, maka akan terbentuk parafin dan olefin dengan rantai yang lebih pendek. Sementara jika kita merengkah olefin maka akan terbentuk dua buah olefin dengan rantai yang lebih pendek jika dibandingkan olefin sebelumnya. Oleh karena itu, maka perengkahan akan menaikkan absorbansi ikatan C=C seperti yang terlihat pada tabel 4.3.



Gambar 4. 14. Reaksi perengkahan pada (a) paraffin dan (b) olefin

Pada tabel 4.3 juga terlihat penurunan absorbansi alkil, baik $-\text{CH}_2$ maupun $-\text{CH}_3$ serta ikatan $-(\text{CH})_n-$. Hal ini menunjukkan berkurangnya rantai hidrokarbon yang terkandung di dalam SJO akibat adanya perengkahan. Perengkahan yang terjadi akan menghasilkan gas berupa hidrokarbon rantai pendek yang terlepas ke udara sehingga menurunkan absorbansi dari $-(\text{CH})_n-$. Sementara, hidrokarbon sisa dari perengkahan tersebut saling berikatan sehingga menurunkan absorbansi gugus alkil. Akibatnya, terbentuk residu dengan densitas yang lebih tinggi sebagaimana dijelaskan pada bagian 4.3.

Absorbansi ikatan $\text{C}=\text{O}$ dari SJO dengan produk reaksi tidak mengalami perubahan. Hal ini menunjukkan bahwa reaksi perengkahan SJO akan lebih cenderung untuk merengkah ikatan $\text{C}-\text{C}$ atau $\text{C}=\text{C}$ daripada penghilangan gugus $\text{C}=\text{O}$ sebagaimana telah dijelaskan pada bagian 4.2. Informasi ini diperkuat dengan hasil analisa GC di mana produk CO_2 di dalam gas yang terbentuk pada reaksi perengkahan tak terdeteksi (*trace*).

Mekanisme ini berbeda dengan hasil penelitian yang dilakukan oleh Hidayat dkk. yaitu pada perengkahan CPO menggunakan alumina. Pada penelitian tersebut, reaksi perengkahan yang terjadi diawali dengan penghilangan gugus CO_2 pada rantai trigliserida (Hidayat, 2007). Namun, hasil yang hamper sama diperoleh pada penelitian Rohmah dkk di mana perengkahan termal yang dilakukan pada SJO ternyata tidak mengubah absorbansi dari $\text{C}=\text{O}$. Perbedaan ini disebabkan karena bahan baku yang digunakan. CPO mayoritas tersusun dari asam palmitat (16:0) sebesar 47% dan asam oleat (18:1) sebesar 43%. Sementara SJO sebagian besar terdiri dari asam oleat (18:1) sebesar 44,2% dan asam linoleat

(18:2) sebesar 34,9%. Jumlah ikatan rangkap pada SJO yang lebih banyak dibandingkan dengan CPO akan menyebabkan perengkahan yang terjadi lebih selektif untuk memotong ikatan C=C. Akibatnya, produk yang dihasilkan pada penelitian ini mayoritas berupa hidrokarbon di mana dalam hal ini berupa C₄.



BAB 5

KESIMPULAN

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini antara lain :

1. *Straighta jatropa oil* (SJO) dapat direngkah dengan menggunakan katalis alumina (Al_2O_3), pada fasa cair dan tekanan atmosferik, untuk menghasilkan produk yang mayoritas terdiri dari C_4 .
2. Reaksi perengkahan katalitik pada SJO menyebabkan naiknya densitas dari SJO sisa reaksi karena hidrokarbon ringan yang terbentuk menguap dan meninggalkan hidrokarbon rantai panjang akibat adanya reaksi propagasi.
3. Berdasarkan analisa FTIR dari distilat hasil reaksi pada kondisi optimum, terlihat bahwa ikatan $C=C$ mengalami peningkatan sementara alkil ($-CH_3$ dan $=CH_2$), gugus ester ($O-C=O$), serta ikatan $-(CH_2)_n-$ mengalami penurunan yang menunjukkan terjadinya perengkahan.
4. Hasil optimum untuk reaksi perengkahan secara tumpak pada tekanan atmosferik diperoleh pada reaksi dengan suhu $320^\circ C$ dan rasio massa katalis/SJO = 1:100 dengan konversi sebesar 35,87% dengan yield fraksi hidrokarbon C_4 sebesar 6,84%.
5. Peningkatan suhu reaksi akan meningkatkan fraksi C_4 pada produk gas dan konversi reaksi sementara yield C_4 akan menurun.
6. Peningkatan rasio massa katalis/SJO akan meningkatkan konversi sementara fraksi C_4 pada produk gas dan yield C_4 akan menurun.

DAFTAR REFERENSI

- Bevy, L. P. (2006). *Trends in Catalysis Research*. Nova Publisher.
- Dewi, R. A. (2007). *Sintesis Hidrokarbon C3 dan C4 Dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Dengan Katalis Zeolit*. Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia, Universitas Indonesia.
- Giwangkara. (2006, Juli 29). *Jarak Pagar Lebih Fleksibel dari Kelapa Sawit*. Retrieved April 16, 2008, from NgéIMu - aNgél sadurungé keteMu: <http://persembahanku.wordpress.com/2006/07/29/jarak-pagar-lebih-fleksibel-dari-kelapa-sawit/>
- Gubitz, G. M., Mittelbach, M., & Trabi, M. (1999). Exploitation of The Tropical Seed Plant *Jatropha curcas* L. *Bioresource Technology* , 67.
- Hidayat, M. (2007). *Sintesis Hidrokarbon Fraksi C3 dan C4 dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Katalitik Menggunakan Katalis Alumina*. Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.
- Institution of Mechanical Engineers Energy, Environment and Sustainability Group. (2001). *Sixth International Conference on Engineering for Profit from Waste*. London: John Wiley and Sons.
- Iskandar, U. P. (2007). *Konversi Katalitik Minyak Jarak Pagar Menjadi Bahan Bakar Setaraf Fraksi Bensin Menggunakan Katalis Alumina*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia FTUI.
- Iswara, G. (2006). *Sintesis Bensin Bio dari Minyak Kelapa Sawit melalui Reaksi Perengkahan Katalitik pada Fasa Cair Menggunakan Katalis H-Zeolit*, Skripsi. Depok: Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik Universitas Indonesia.
- Kandpal, J. B., & Madan, M. (1994). *Jatropha curcas : A Renewable Source Of Energy For Meeting Future Energy Needs*.
- Manurung, R. (2005, Juli 9). *Straight Jatropha Oil: Promising Green Fuel*. (Gajah Mada University, Performer)
- Menteri ESDM. (2008, Januari 3). *Realisasi Konversi Minyak Tanah Ke LPG Tahun 2007 Lampau Target* . Retrieved Mei 16, 2008, from The Official Website of The Minister of Energy and Mineral Resources of the Republic of Indonesia: http://menteri.esdm.go.id/berita_mesdm.php?news_id=510

Moestika, A. (2004). *Pembuatan Biogasoline dari Minyak Kelapa Sawit Melalui Reaksi Perengkahan Dengan Menggunakan Katalis Alumina*. Skripsi. Depok: Teknik Kimia FTUI.

Nasikin, M. (2005). *Pembuatan Biogasoline dari Minyak Kelapa Sawit dengan Katalis Zeolit Alam*. Laporan Substansi RUT 2005 dan Rencana Kerja RUT Tahun 2006. Kementerian Riset dan Teknologi dan Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia.

Pertamina. (2008). *Sekilas Tentang Program Konversi Minyak Tanah ke LPG*. Retrieved April 15, 2008, from Program Konversi: <http://www.pertamina.com/konversi/program.php>

Purba, F. H. (2008, Juli 25). *Pemanfaatan Tanaman Jarak Pagar di Berbagai Negara*. Retrieved Desember 10, 2008, from The World of Me: http://santi31.multiply.com/journal/item/36/Pemanfaatan_Tanaman_Jarak_Pagar_di_Berbagai_Negara

Richardson, J. T. (1989). *Principles of Catalyst Development*. New York: Plenum Press.

Rini, Y., & Ratna, S. W. (2008, Mei 30). Arus Minyak 2007. *Kompas*, p. 46.

Rohmah, E. N. (2008). *Rekayasa Minyak Jarak (Jatropha Oil) Menjadi Bahan Bakar Setara Solar Melalui Proses Thermal Cracking*. Thesis. Depok: Departemen Teknik Kimia FTUI.

Speight, J. (1991). *The Chemistry and Technology of Petroleum*. New York: Marcel Dekker Inc.

Twaiq, F. A., Zabidi, N. A., & Bhatia, S. (1999). Catalytic Conversion of Palm Oil to Hydrocarbons: Performance of Various Zeolite Catalysts. *Ind. Eng. Chem. Res.*, 3230-3237.

Twigg, M. (1989). *Handbook of Commercial Catalyst*. USA: Wolfe Publishing Ltd.

Venuto, P. B., & Habib Jr., E. T. (1979). *Fluid Catalytic Cracking with Zeolite Analysis*. New York: Marcel Dekker, Inc.

Wikipedia. (2008, April 14). *Aluminium oxide*. Retrieved April 15, 2008, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Aluminium_oxide

Wikipedia. (2008, November 25). *Linoleic Acid*. Retrieved November 2007, 2008, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Linoleic_acid

Wikipedia. (2008, February 9). *Liquefied Petroleum Gas*. Retrieved Februari 19, 2008, from Wikipedia International Encyclopedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Liquefied_petroleum_gas

Wikipedia. (2008, November 17). *Oleic Acid*. Retrieved November 27, 2008, from Wikipedia: http://en.wikipedia.org/wiki/Oleic_acid

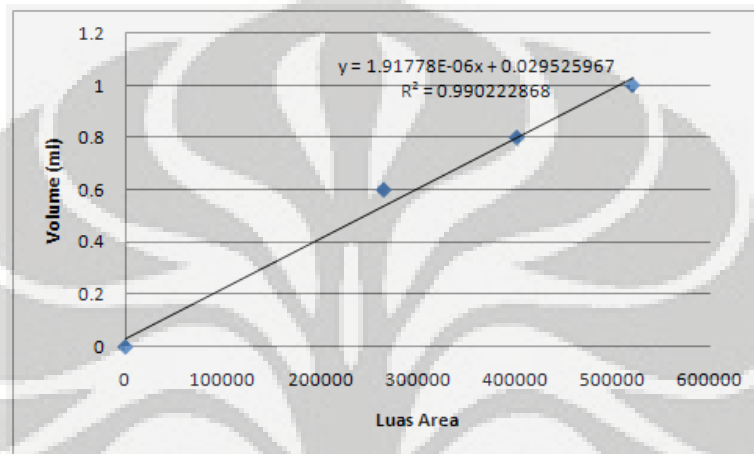


Lampiran 1. Hasil Kalibrasi GC

❖ Udara

Waktu tinggal = 0,3

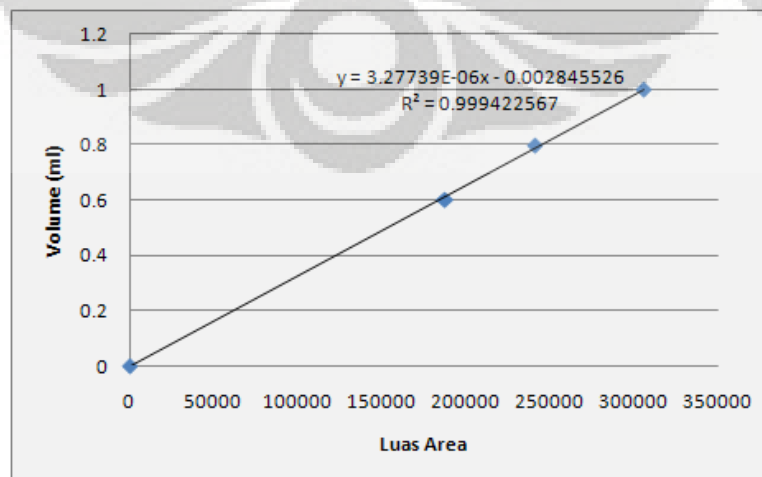
Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	435518	439548	438813	437959.7
0.8	351648	351900	321039	341529
0.6	243066	251025	237353	243814.7



❖ CO₂

Waktu tinggal = 0,8 – 0,9

Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	303558	323684	291287	306176.3
0.8	239756	238447	246272	241491.7
0.6	181304	193710	189269	188094.3

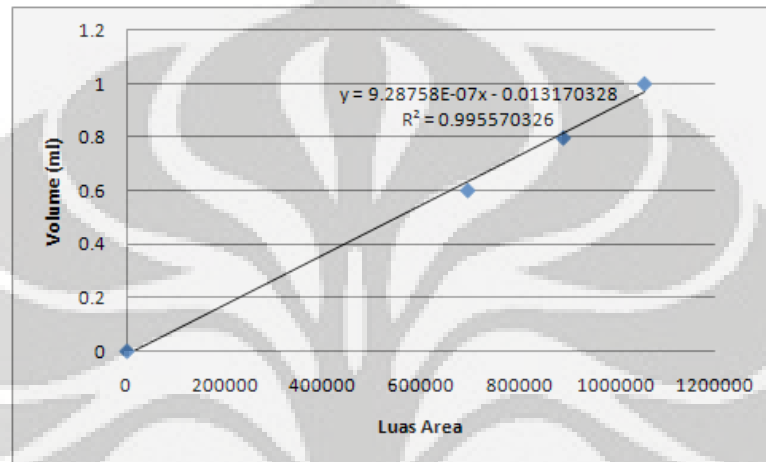


(Lanjutan)

❖ CH₄

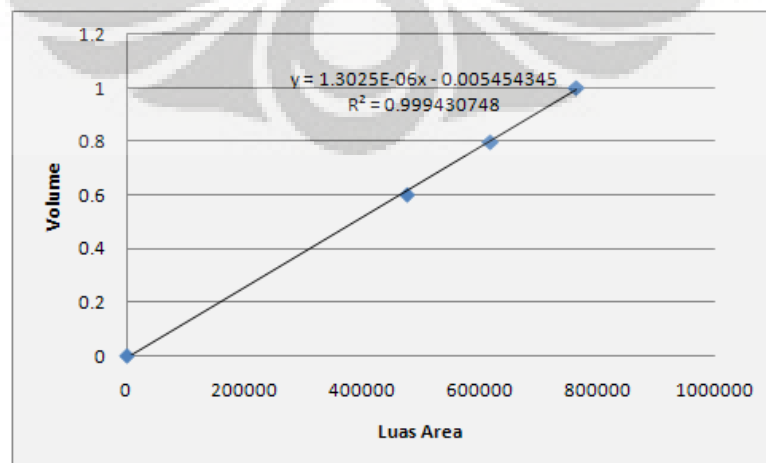
Waktu tinggal = 0,45 – 0,5

Volume (ml)	Area			rata-rata
	1	2	3	
1	1068533	1032032	1066050	1055538
0.8	918497	908100	844449	890348.7
0.6	685546	674368	724883	694932.3

❖ C₂H₄

Waktu tinggal = 1,2 – 1,6

Volume (ml)	Area			rata-rata
	1	2	3	
1	754286	781236	759640	765054
0.8	619304	596181	639635	618373.3
0.6	497036	465783	464963	475927.3



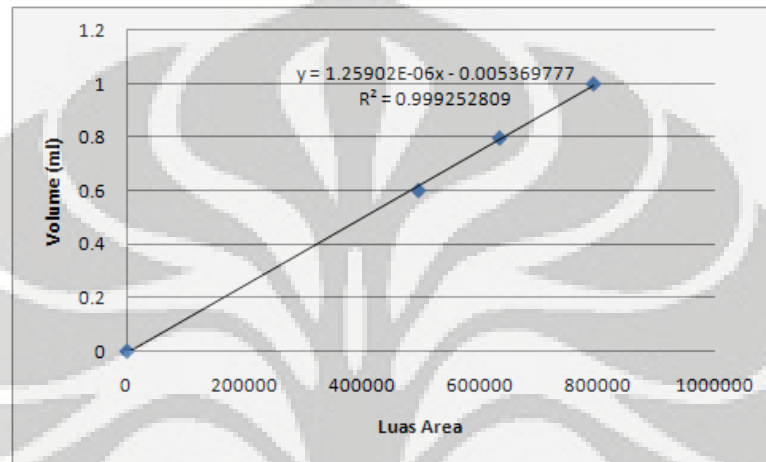
Universitas Indonesia

(Lanjutan)

❖ C_2H_6

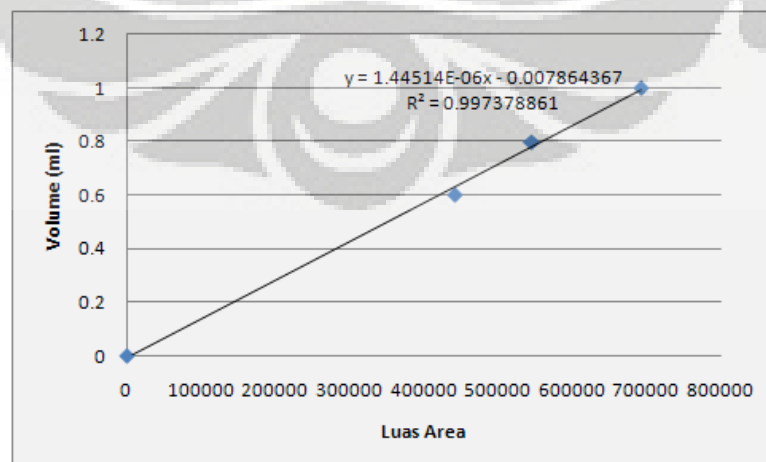
Waktu tinggal = 1,6 – 1,9

Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	807935	775727	797950	793870.7
0.8	661336	648775	593524	634545
0.6	477048	537809	469800	494885.7

❖ C_3H_6

Waktu tinggal = 2,9 – 3,25

Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	648384	773492	656866	692914
0.8	535099	570136	534635	546623.3
0.6	409522	389352	530037	442970.3

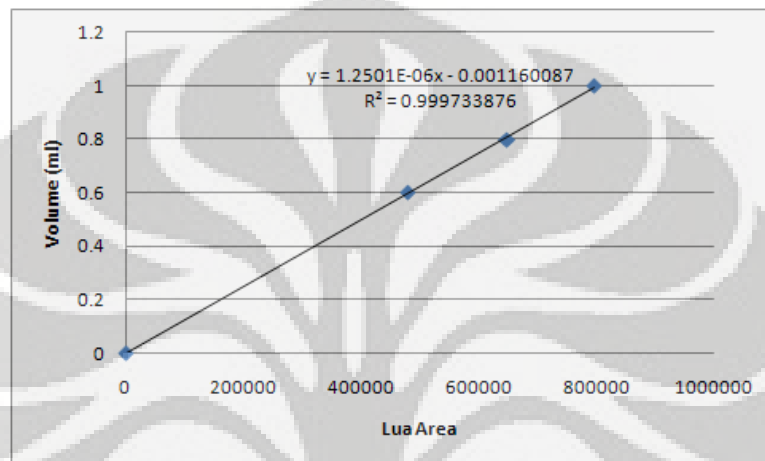


(Lanjutan)

❖ C_3H_8

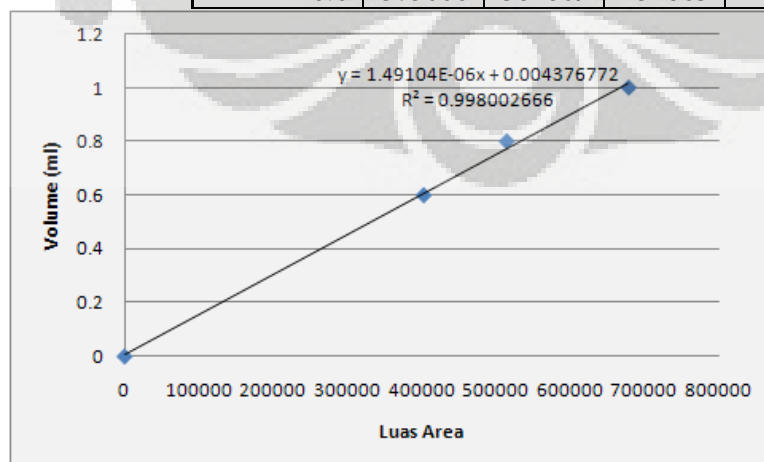
Waktu tinggal = 3,3 – 3,5

Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	830982	782682	772109	795257.7
0.8	620179	609550	716406	648711.7
0.6	494891	484973	458909	479591

❖ $i-C_4H_{10}$

Waktu tinggal = 8,2 – 9,3

Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	663931	679620	694967	679506
0.8	528484	508499	508369	515117.3
0.6	375008	382869	451863	403246.7

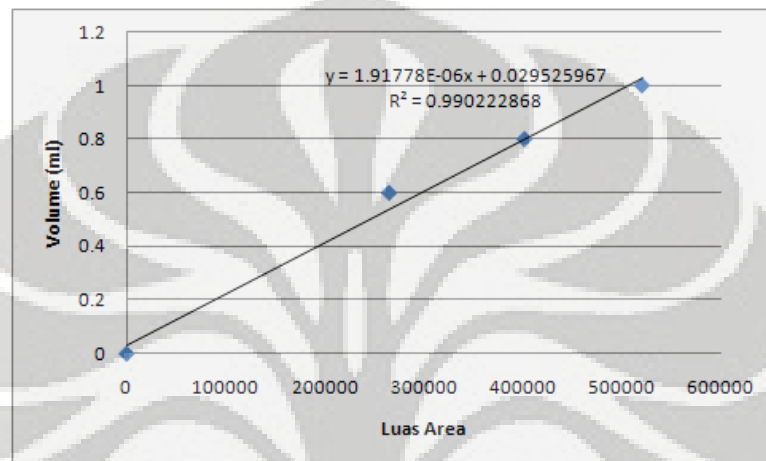


(Lanjutan)

❖ n-C₄H₁₀

Waktu tinggal = 10,4 – 12

Volume (ml)	Area			
	1	2	3	rata-rata
1	528434	512781	523511	521575.3
0.8	398710	404940	404144	402598
0.6	293763	207244	296068	265691.7



Lampiran 2. Hasil Analisa GC

- ✓ Reaksi pada $T=320^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:75
 - Massa sisa reaksi perengkahan : 15,15 gram
 - Densitas sisa reaksi perengkahan : $0,921 \text{ gram/cm}^3$
 - Massa distilat : 4,85 gram

Komponen	Volume (ml)							
	180°C	200°C	220°C	240°C	260°C	280°C	300°C	320°C
Udara	0.6143	0.6828	0.5298	0.4739	0.4377	0.7516	0.6745	0.8097
CO2								
CH4								
C2H4								
C2H6								
C3H6		0.004908						
C3H8		0.001195						
i-C4H10	0.007851	0.00551	0	0.009926	0	0	0	0
n-C4H10	0	0.032075	0.033534	0.041023	0.03833	0.045037	0.054175	0.079952

(Lanjutan)

Komponen	Volume (ml)												
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit	35 menit	40 menit	45 menit	50 menit	55 menit	60 menit
Udara	0.8097	0.7646	0.8537	0.9462	0.8540	0.8422	0.8761	0.8323	0.6722	0.7587	0.6324	0.6829	0.5180
CO ₂													
CH ₄													
C ₂ H ₄													
C ₂ H ₆													
C ₃ H ₆													
C ₃ H ₈													
i-C ₄ H ₁₀						0.0089				0.0084			
n-C ₄ H ₁₀	0.0800	0.1902	0.0902	0.0376	0.1127	0.0753	0.0855	0.0909	0.0662	0.1063	0.1456	0.1167	0.1398

(Lanjutan)

✓ Reaksi pada $T=330^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:75

- Massa sisa reaksi perengkahan : 14,83 gram
- Densitas sisa reaksi perengkahan : $0,929 \text{ gram/cm}^3$
- Massa distilat : 4,94 gram

Komponen	Volume (ml)												
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit	35 menit	40 menit	45 menit	50 menit	55 menit	60 menit
Udara	0.6494	0.8673	0.5957	0.5809	0.7799	0.8836	0.8983	0.8561	0.8139	0.7826	0.7630	0.6539	0.6448
CO ₂						0.0006	0.0007	0.0006	0.0008	0.0007			
CH ₄													
C ₂ H ₄													
C ₂ H ₆													
C ₃ H ₆													
C ₃ H ₈													
i-C ₄ H ₁₀	0.0053	0.0056					0.0161	0.0052					
n-C ₄ H ₁₀	0.0302		0.1972	0.2330	0.1290	0.0582	0.0613	0.0494	0.0611	0.0816	0.0739	0.2208	0.1169

(Lanjutan)

✓ Reaksi pada $T=340^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:75

- Massa sisa reaksi perengkahan : 11,35 gram
- Densitas sisa reaksi perengkahan : $0,945 \text{ gram/cm}^3$
- Massa distilat : 2,7 gram

Komponen	Volume (ml)												
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit	35 menit	40 menit	45 menit	50 menit	55 menit	60 menit
Udara	0.7642	0.7478	0.6480	0.7706	0.7665	0.7111	0.7547	0.7198	0.7299	0.6760	0.6378	0.4839	0.5979
CO ₂	0.0001							0.0002	0.0006			0.0009	
CH ₄													
C ₂ H ₄													
C ₂ H ₆	0.0108	0.0072									0.0230		
C ₃ H ₆				0.0022									
C ₃ H ₈							0.0058		0.0026				
i-C ₄ H ₁₀			0.0147	0.0056	0.0124	0.0127	0.0084	0.0089	0.0112	0.0380			
n-C ₄ H ₁₀	0.0347	0.0501	0.0352	0.0462	0.0435	0.0635	0.0630	0.0585	0.0358	0.0317	0.0886	0.1426	0.0938

(Lanjutan)

- ✓ Reaksi pada $T=320^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:100
 - Massa sisa reaksi perengkahan : 14,81 gram
 - Densitas sisa reaksi perengkahan : $0,939 \text{ gram/cm}^3$
 - Massa distilat : 4,04 gram

Komponen	Volume (ml)							
	180°C	200°C	220°C	240°C	260°C	280°C	300°C	320°C
Udara	0.7502	0.6700	0.6640	0.7225	0.7564	0.7071	0.7247	0.6070
CO ₂								
CH ₄								
C ₂ H ₄	0.001453	0.081088						
C ₂ H ₆		0.052899						
C ₃ H ₆								
C ₃ H ₈		0.075142						
i-C ₄ H ₁₀								0.169571
n-C ₄ H ₁₀	0.038313	0.117903	0.07328	0.09796	0.116632	0.203915	0.148212	

(Lanjutan)

Komponen	Volume (ml)												
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit	35 menit	40 menit	45 menit	50 menit	55 menit	60 menit
Udara	0.6070	0.7384	0.9067	0.8705	0.8695	0.8207	0.8180	0.8118	0.7585	0.7311	0.6398	0.7512	0.7376
CO ₂													
CH ₄													
C ₂ H ₄													
C ₂ H ₆													
C ₃ H ₆													
C ₃ H ₈	0.0762												
i-C ₄ H ₁₀	0.1696	0.1892											
n-C ₄ H ₁₀			0.0849	0.0860	0.0900	0.1099	0.1137	0.1024	0.1531	0.1443	0.1215	0.1091	0.0402

(Lanjutan)

✓ Reaksi pada $T=330^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:100

- Massa sisa reaksi perengkahan : 14,74 gram
- Densitas sisa reaksi perengkahan : $0,948 \text{ gram/cm}^3$
- Massa distilat : 4,99 gram

Komponen	Volume (ml)												
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit	35 menit	40 menit	45 menit	50 menit	55 menit	60 menit
Udara	0.7247	0.7789	0.8340	0.8825	0.7589	0.7087	0.8078	0.7728	0.7617	0.7054	0.7348	0.7144	0.8299
CO ₂	0.0060					0.0022						0.0017	
CH ₄													
C ₂ H ₄													
C ₂ H ₆				0.0105							0.0785		
C ₃ H ₆	0.0038	0.0008											
C ₃ H ₈													
i-C ₄ H ₁₀	0.0133	0.1146	0.0163	0.0071	0.0231	0.0578							
n-C ₄ H ₁₀	0.1106		0.0685	0.0325	0.0509	0.0585	0.1436	0.1881	0.1948	0.2423	0.1027	0.0944	0.0832

(Lanjutan)

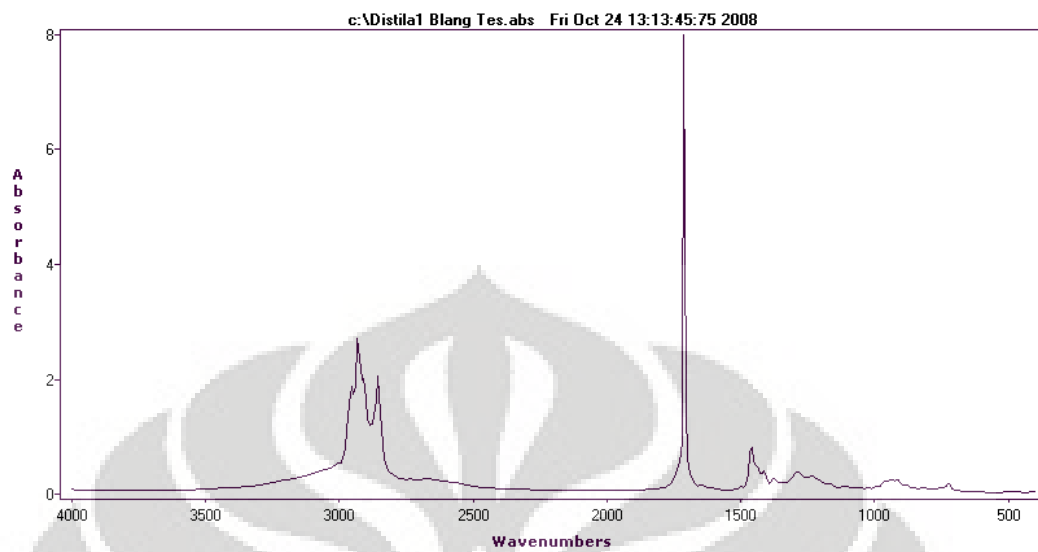
✓ Reaksi pada $T=340^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:100

- Massa sisa reaksi perengkahan : 14,131 gram
- Densitas sisa reaksi perengkahan : $0,955 \text{ gram/cm}^3$
- Massa distilat : 4,7 gram

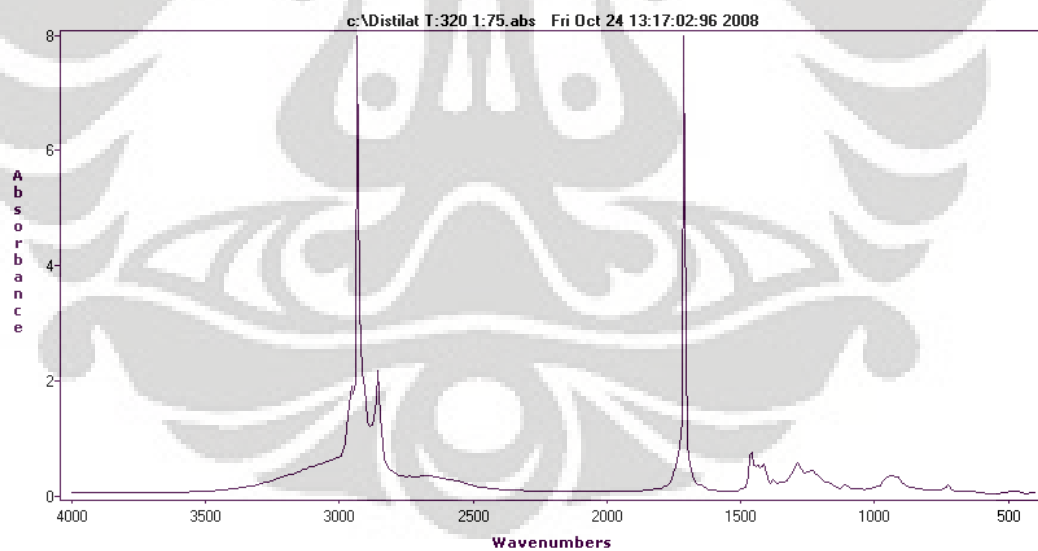
Komponen	Volume (ml)													
	0 menit	5 menit	10 menit	15 menit	20 menit	25 menit	30 menit	35 menit	40 menit	45 menit	50 menit	55 menit	60 menit	
Udara	0.7994	0.8271	0.7791	0.8097	0.7414	0.7834	0.7750	0.7712	0.7914	0.8181	0.8322	0.7576	0.8023	
CO ₂	0.0048	0.0040		0.0020						0.0008				
CH ₄														
C ₂ H ₄								0.0721						
C ₂ H ₆	0.0425	0.0661	0.0165	0.0856					0.0366					
C ₃ H ₆														
C ₃ H ₈			0.0294											
i-C ₄ H ₁₀		0.0409	0.0051		0.0133	0.0225	0.0221	0.0327	0.0724		0.0048			
n-C ₄ H ₁₀	0.0334	0.0341	0.0676	0.0746	0.0811	0.1054	0.0934	0.0335	0.0324	0.0338	0.0977	0.0846	0.0879	

Lampiran 2. Hasil Analisa GC

➤ Analisa FTIR dari Distilat Blank Test SJO

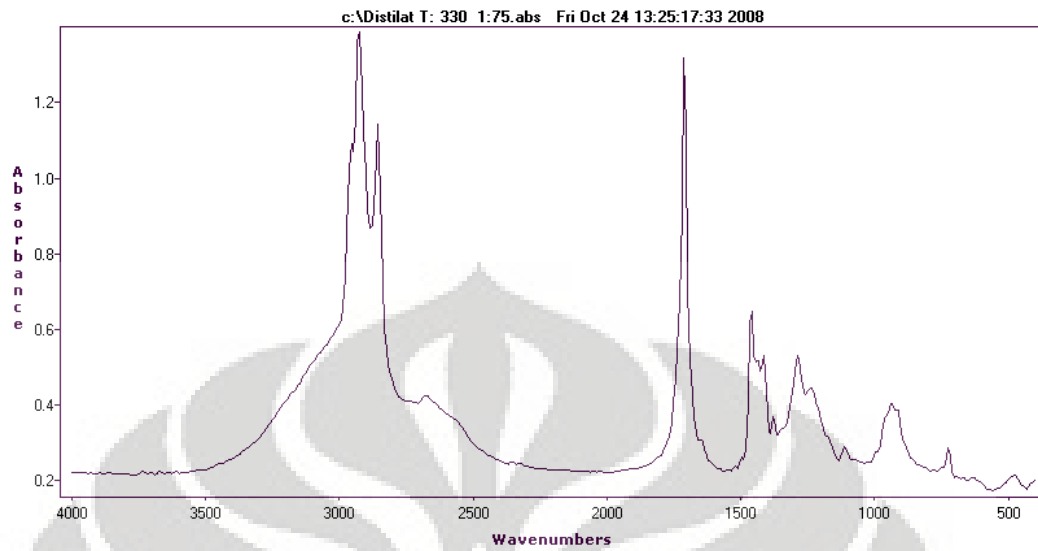


➤ Analisa FTIR distilat reaksi pada $T=320^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:75

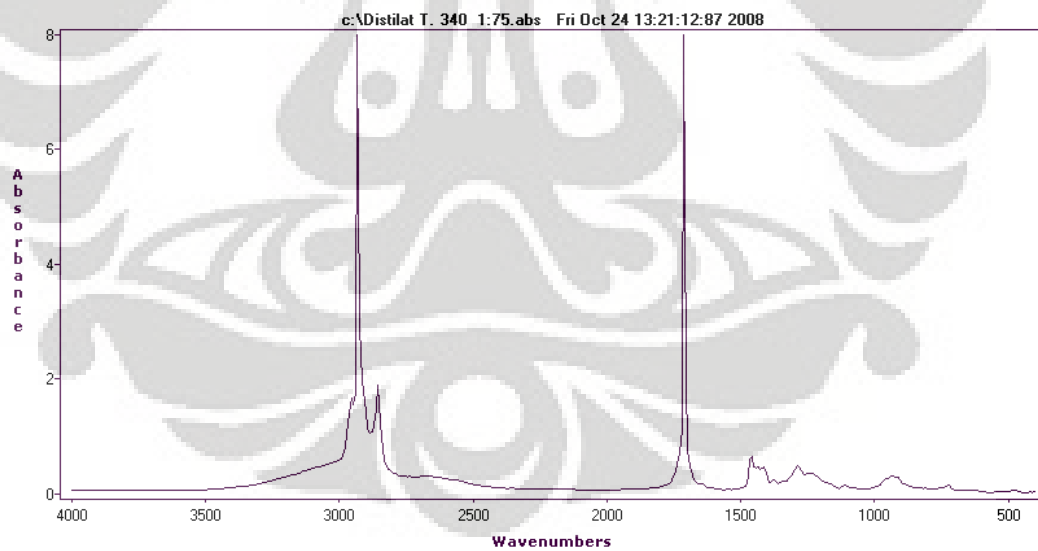


(Lanjutan)

- Analisa FTIR distilat reaksi pada $T=330^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:75

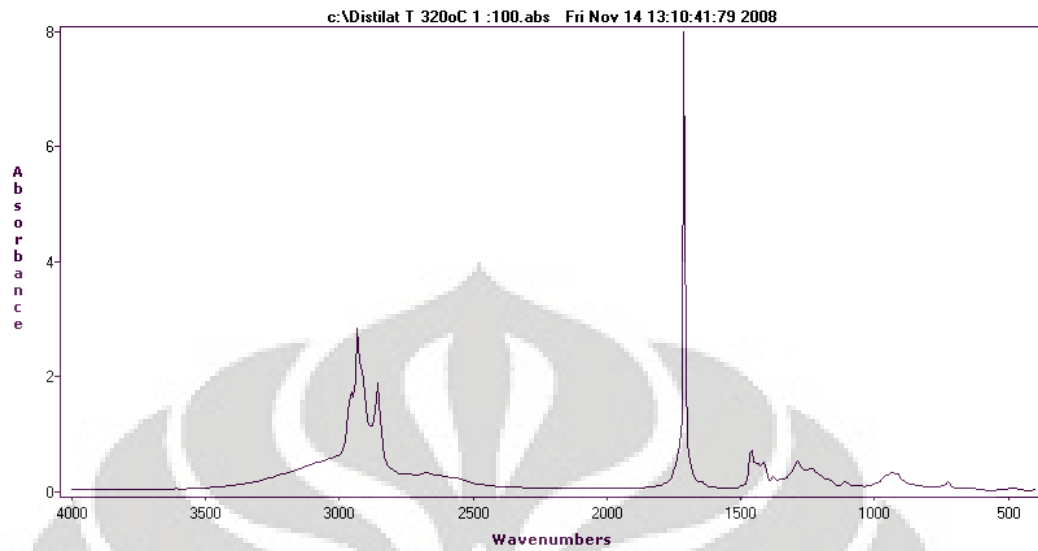


- Analisa FTIR distilat reaksi pada $T=340^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:75

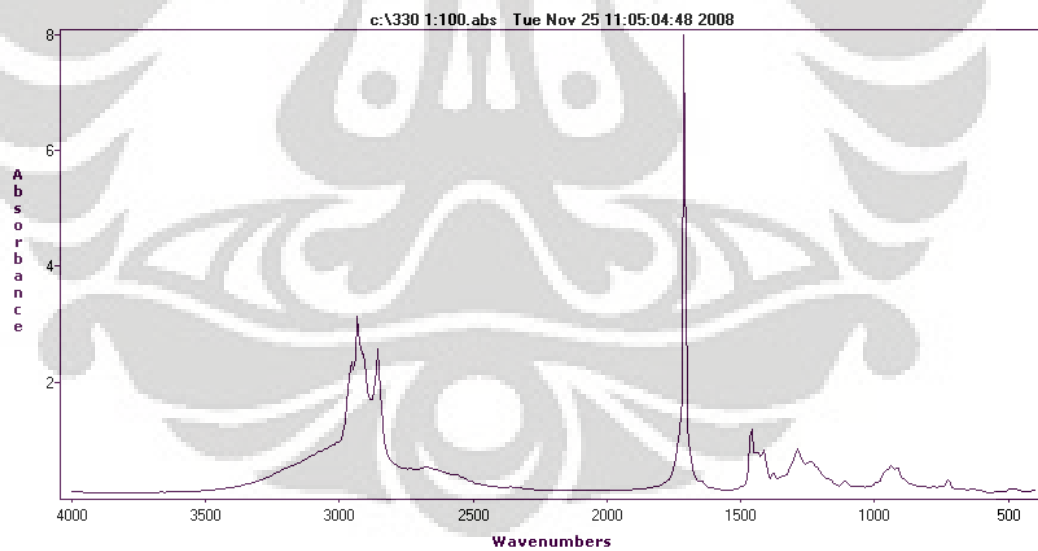


(Lanjutan)

➤ Analisa FTIR distilat reaksi pada $T=320^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:100



Analisa FTIR distilat reaksi pada $T=340^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:100



(Lanjutan)

- Analisa FTIR distilat reaksi pada $T=340^{\circ}\text{C}$ dan rasio massa katalis/SJO=1:100

